ISSN 1992-5980



ВЕСТНИК

ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Том 11
№ 8 (59)
выпуск 1
2011



ВЕСТНИК
ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2011

Т.11 № 8(59), выпуск 1

Теоретический и научно-практический журнал

Рекомендован ВАК для публикаций основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума ВАК Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года № 6/6)

Издается с 1999 г.

Выходит 8 раз в год
Октябрь – декабрь 2011 г.

Учредитель – **Донской государственный технический университет**

Подписано в печать 30.12.2011.
Формат 60×84/8. Гарнитура «Tahoma». Печать офсетная.
Усл.печ.л. 22,625. Тираж 1000 экз. Заказ №650. Цена свободная.

Адрес редакции:
344000, Россия, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-565.

Адрес издательского центра:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-741, 2-738-322.
http://vestnik.donstu.ru

Регистрационное свидетельство ПИ №ФС 77-35012 от 16.01.09.

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

VESTNIK of DON STATE TECHNICAL UNIVERSITY 2011

V.11 № 8(59), issue 1

Theoretical and scientific-practical journal

Recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publications of the thesis research results for Doctor's and Candidate Degree (the solution of the Presidium of the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Education and Science Ministry, February 19, 2010, №6/6)

Founded in 1999

8 issues a year

October – December 2011

Founder – **Don State Technical University**

The issue is prepared by: S.G. Magakova, E.V. Kheygetyan, M.P. Smirnova (English version)

Passed for printing 30.12.2011.
Format 60X84/8. Font «Tahoma». Offset printing.
C.p.sh. 22,625. Circulation 1000 cop. Order 650. Free price.

Editorial Board's address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: (863) 273-85-65

Publishing Centre's address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: (863) 273-87-41, 273-83-22

http://vestnik.donstu.ru

Registration certificate ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.

CONTENT

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 620.179.17-715.6

ВЛИЯНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ОККЛЮДИРОВАННЫХ ГАЗОВ НА АКУСТИЧЕСКУЮ ЭМИССИЮ В ПРОЦЕССЕ СОЛЬВАТАЦИИ КРИСТАЛЛОВ

Д.М. КУЗНЕЦОВ
(Донской государственный технический университет),
П.Н. КОЗАЧЕНКО
(Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса),
О.О. БАРАННИКОВА
(Донской государственный технический университет)

Исследована акустическая эмиссия, сопровождающая процессы растворения солей. Выявлено, что параметры акустической эмиссии зависят от химического состава вещества. Установлено, что независимо от степени чистоты кристаллов по мере их растворения суммарный счет сигналов растет по логарифмическому закону, а активность акустической эмиссии экспоненциально снижается. Показано, что выделение окклюдированных газов является значимым элементом акустической эмиссии при растворении кристаллов.
Ключевые слова: *акустические волны, кристаллизация, сольватация, окклюдированные газы.*

Введение. Акустическая эмиссия (АЭ) – это излучение упругих волн, возникающее в процессе перестройки внутренней структуры материала [1], обнаружена в твердых и жидких средах. АЭ в твердых телах является хорошо изученным явлением. Более того, благодаря своей высокой чувствительности, она нашла практическое применение для обнаружения дефектов, в том числе и достаточно мелких [2], и слежения за различными процессами, например, графитацией углеродных тел в ходе нагрева от 0 до 3000 °С [3].

Акустические эффекты в системе «твердое тело – жидкость» недостаточно исследованы как экспериментально, так и теоретически [4 – 11]: предпринимались попытки теоретического объяснения возникновения высокочастотных колебаний при кристаллизации, а анализ процесса растворения кристаллов не проводился.

Была предложена математическая модель акустического эффекта кристаллизации. Сравнительно большие значения пиковых давлений в акустических волнах, по мнению авторов [8, 10], есть следствие резонансных явлений. Природа генерации акустических волн в процессе кристаллизации обусловлена следующим: при кристаллизации в ограниченном объеме по обе стороны от границы раздела фаз возникает система стоячих волн, одна из которых локализована в объеме, занятом жидкостью, а другая – в растущем кристалле.

Более наглядно природу генерации можно представить «в виде раздвижения фаз за счет вбивания тонкого клина между твердым телом и жидкостью» [8]. При этом происходит возмущение плотности, которое исходит из зоны кристаллизации и распространяется в сторону и жидкости, и кристалла. Проведен расчет частоты генерируемых при этом сигналов в зависимости от величины кристалла, не подкрепленный, к сожалению, экспериментальными данными. Можно согласиться с выводами [10, 11], что акустические волны несут информацию об изменении размеров кристалла. Но в то же время, по нашему мнению, индуцируемые при кристаллизации акустические волны несут информацию и о химической природе вещества. Причина этого в следующем.

При кристаллизации осуществляется фазовый переход вещества из состояния переохлажденной (пересыщенной) маточной среды в кристаллическое соединение с меньшей энергией. Избыточная энергия выделяется в виде скрытой теплоты. Выделение этой латентной энергии кри-

сталлизации ведет к нагреванию расплава или раствора на границе с растущим кристаллом. Несмотря на малое значение образующегося градиента температуры, он неминуемо должен вызвать генерацию волн плотности и в жидкости, и кристалле. А вследствие теплообмена этот градиент температуры будет распространяться по всему объему жидкости. Поскольку величина скрытой энергии кристаллизации имеет собственное значение для каждого вещества, то и генерируемая АЭ должна отражать индивидуальность его химической природы.

При растворении твердого тела всегда происходит взаимодействие растворенного вещества с растворителем, т. е. сольватация. Теплоту растворения ΔH_p обычно рассматривают как сумму теплоты соответствующего фазового перехода $\Delta H_{ф.п}$ растворяемого вещества и теплоты сольватации $\Delta H_{сольв}$:

$$\Delta H_p = \Delta H_{ф.п} + \Delta H_{сольв}\ . \qquad (1)$$

Традиционное объяснение энергетического баланса сводится к следующему. Для частного случая растворения кристаллических веществ в жидкостях первое слагаемое в этих уравнениях соответствует процессу разрушения кристаллической решетки, поэтому $\Delta H_{ф.п} > 0$ (процесс эндотермический). Сольватация, напротив, является процессом экзотермическим ($\Delta H_{сольв} < 0$). Поэтому интегральная теплота растворения ΔH_p может иметь различный знак.

Слагаемые $\Delta H_{ф.п}$ и $\Delta H_{сольв}$ (1) являются только частным видом процесса прямого превращения химической энергии в тепловую. Однако есть возможность превращения химической энергии сольватации в электромагнитную или механическую. Если сольватация сопровождается изменением объема реагентов (что чаще всего и происходит), это вызывает превращение части химической энергии в механическую работу.

Поскольку изменения объема происходят на микроуровне и достаточно быстро, то механическая работа при сольватации должна порождать в жидкой среде волны разрежения и уплотнения – акустические волны [6, 12]. Индуцирование сигналов АЭ в этом случае может быть обусловлено следующими механизмами:

– затратой энергии при разрушении кристалла соли за счет взаимодействия ионов с диполями растворителя. Это приводит к локальному изменению температуры растворителя на границе «кристалл – раствор». Часть энергии при этом преобразуется в механическую работу сдвига частиц растворителя, что проявляется в образовании акустических сигналов ультразвукового диапазона;

– выделением окклюдированных газов из кристалла соли при его растворении. Схлопывание пузырька газа на поверхности жидкости также может приводить к образованию акустических сигналов [6]. И хотя для высокодисперсных порошков соли этот механизм маловероятен, его следует учитывать при растворении крупных кристаллов.

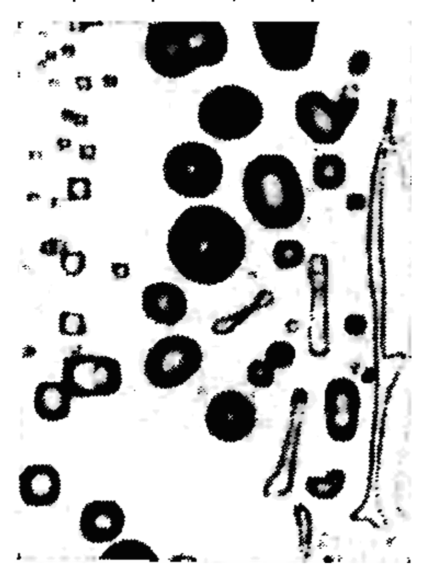


Рис.1. Газовые включения в природном кристалле галита NaCl, по данным работы [9]

Цель настоящей работы – исследование влияния выделения окклюдированных газов на количество акустических сигналов в ультразвуковом диапазоне частот сигналов.

Методика исследований. Для исследований использовались монокристаллы и кристаллические порошки различных веществ в количестве 0,001 моль. В качестве исследуемых монокристаллов использовались как кристаллы галита массой 0,585 г (природный NaCl, содержащий газовые включения) (рис. 1), так и рекристаллизованные чистые образцы кристаллов NaCl без газовых включений той же массы. Для увеличения достоверности полученных результатов растворение кристаллов проводилось на параллельных образцах.

Также исследовался процесс растворения порошков кристаллов хлорида бария $BaCl_2$ и кристаллогидратов медного купороса $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

Методика проведения экспериментов была аналогична описанной в работе [4], за исключением того, что температурное поле емкости с раствором контролировалось дистанционно с помощью тепловизора SATHOTFIND (рис. 2). Такой выбор объекта исследования обосновывался различным механизмом индуцирования сигналов АЭ.

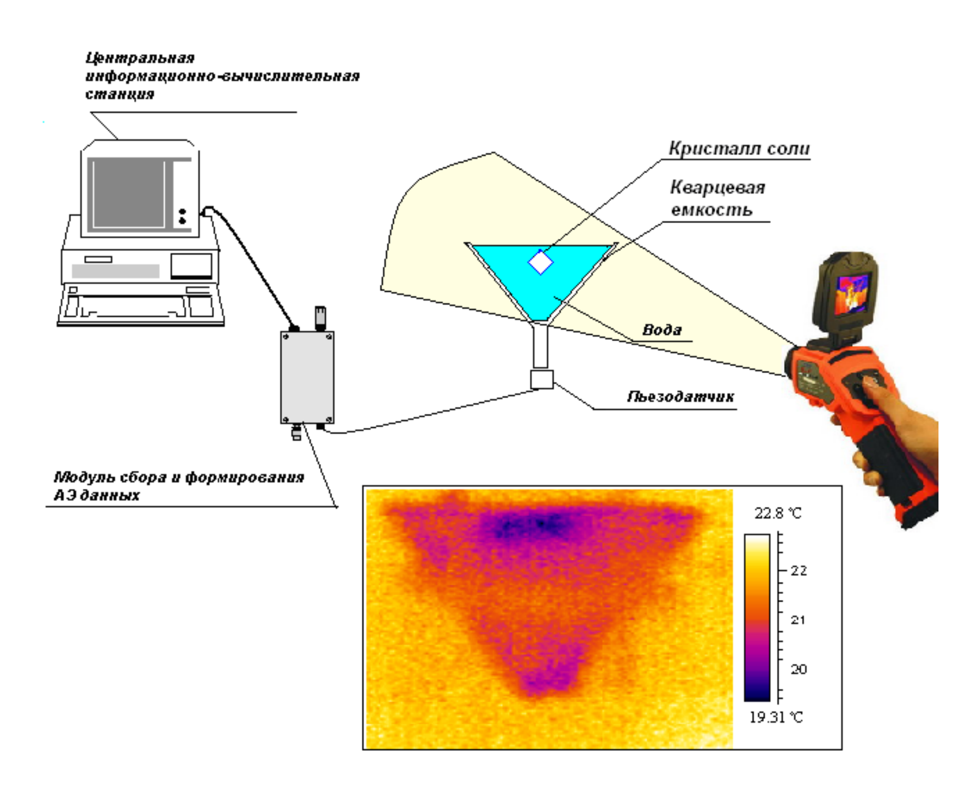


Рис. 2. Схема эксперимента по изучению процесса растворения кристаллов с использованием методов акустической эмиссии и тепловизионного контроля

Акустические сигналы регистрировались с помощью многоканального акустико-эмиссионного комплекса A-Line 32.

В ходе исследований оценивались следующие параметры АЭ (рис. 3):

– амплитуда эмиссии – максимальное значение сигнала эмиссии в течение заданного промежутка времени;

– длительность электрического сигнала T_0, с – время нахождения огибающей электрического импульса АЭ над порогом ограничения, диапазон изменения – 10^{-4}–10^{-8} с;

– время нарастания $D\tau_н$, с – промежуток времени между появлением огибающей импульса АЭ над порогом ограничения и достижением огибающей ее максимальной амплитуды;

– суммарный счет N_Σ, имп. – число зарегистрированных превышений импульсами АЭ установленного уровня дискриминации (ограничения);

– выбросы K, имп. – количество осцилляций, превышающих установленный уровень дискриминации в период нахождения огибающей электрического импульса АЭ над порогом ограничения;

– активность N, имп./с – производная по времени суммарного счета АЭ, диапазон изменения – 0–10^{15} имп./с;

– энергия электрического сигнала E_c, Дж – измеренная площадь под огибающей электрического сигнала АЭ, диапазон изменения – 10^{-9}–10^{-5} Дж.

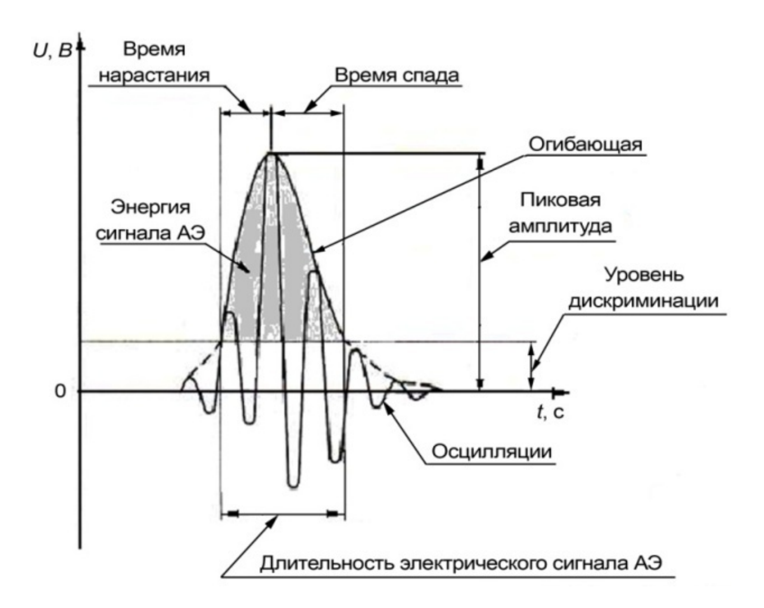


Рис. 3. Основные регистрируемые параметры АЭ

Результаты исследований. Полученные результаты свидетельствуют, что при растворении кристаллов спектр наблюдаемых сигналов АЭ имеет непрерывный характер и достаточно широк, встречаются сигналы с частотой в 30, 70 и 150 кГц. Амплитуды сигналов АЭ также меняются значительно – от 33 до 60 дБ, т. е. интенсивность акустической волны в процессе растворения или роста монокристалла может варьироваться в соотношении $1{:}10^3$. Опыты показали, что с помощью АЭ можно с точностью до секунды определить начало и окончание процесса растворения соли, что сделать оптическими средствами практически невозможно, поскольку масса кристаллов спустя 5 мин после начала процесса растворения не превышает 0,01 мг, а для мутных растворов применение оптических методов вообще ограничено. По мере растворения соли суммарный счет N_Σ сигналов растет по логарифмическому закону, а активность N экспоненциально снижается (рис. 4). Установлено, что изменение состава соли полностью меняет количество регистрируемых сигналов, хотя экспоненциальное снижение активности выбросов АЭ при этом сохраняется. Последнее обстоятельство легко объяснить экспоненциальным уменьшением поверхности взаимодействия по мере растворения.

В отличие от N_Σ и активности N намного сложнее ведут себя такие параметры АЭ, как количество осцилляций, а также длительность сигнала. Наряду с кажущимся хаосом амплитудно-частотных характеристик акустических сигналов зафиксировано четкое экспоненциальное снижение активности сигналов АЭ, а также постепенное изменение температуры раствора. Установлено, что кривая снижения температуры жидкости в месте расположения кристаллов растворяемого вещества имеет экспоненциальный характер, и динамика снижения температуры качественно совпадает с динамикой изменения активности сигналов АЭ. Данное сходство экспериментальных кривых, безусловно, не является случайным и свидетельствует, что наблюдаемое снижение температуры жидкости в районе местонахождения кристалла в процессе его растворения является одним из факторов, вызывающих генерацию акустических волн.

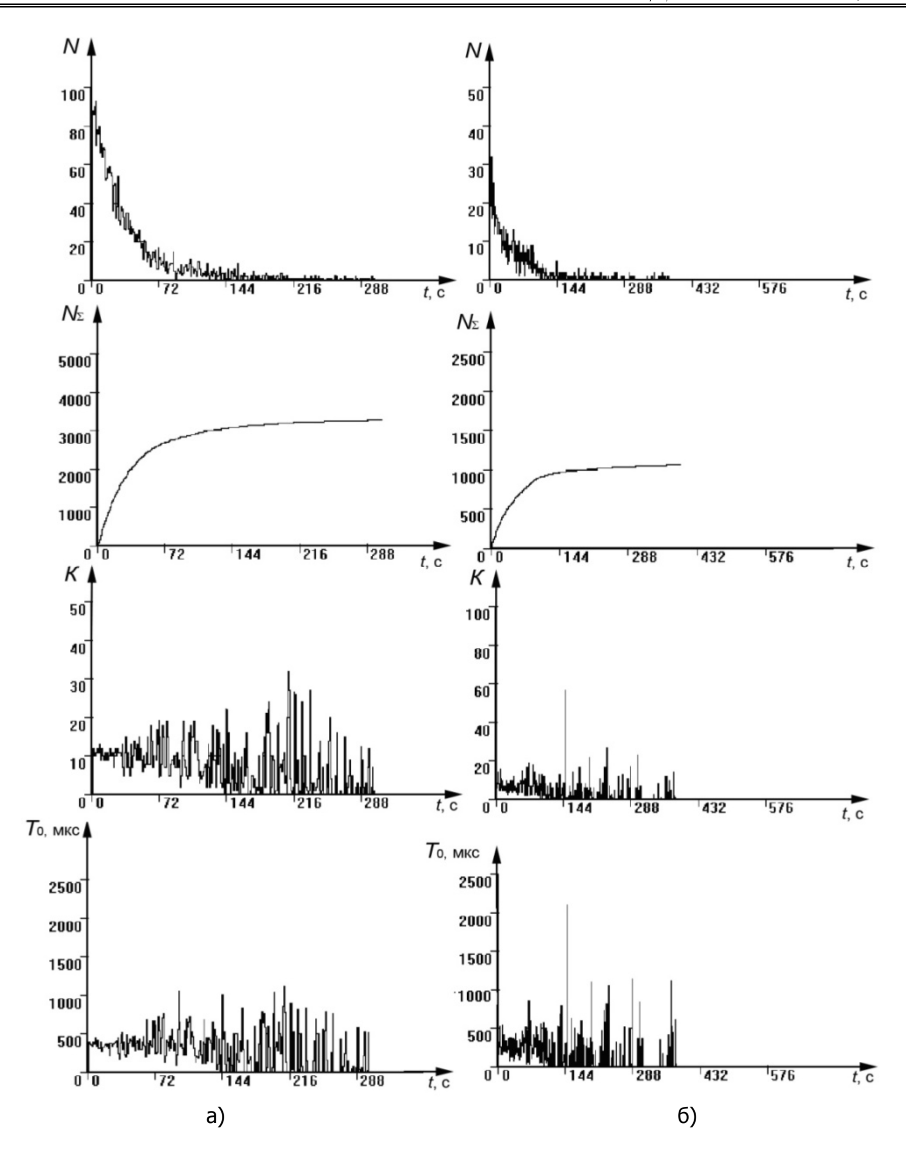


Рис. 4. Акустограммы процесса растворения кристаллов хлорида бария $BaCl_2$ (а) и кристаллогидратов медного купороса $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (б)

В то же время можно признать, что среди рассматриваемых механизмов генерации акустических сигналов оказался и значимым вклад механизма интерпретации сигналов АЭ как результата движения и разрыва газовых пузырьков, окклюдированных кристаллом. Для выявления количественного вклада этого фактора в акустическую эмиссию растворения достаточно сравнить (рис. 5) кривые изменения активности АЭ и суммарного счета сигналов АЭ в процессе растворения рекристаллизованных оптически чистых кристаллов хлорида натрия и природных кристаллов галита.

Установлено, что независимо от степени чистоты кристаллов по мере их растворения суммарный счет N_Σ сигналов растет по логарифмическому закону (рис. 5,б), а активность АЭ N экспоненциально снижается (рис.5,а), что можно объяснить также экспоненциальным снижением объема кристаллов и поверхности взаимодействия «твердая фаза – жидкая фаза». Однако, в отличие от качественного сходства, количество индуцируемых сигналов различается значительно. Так, максимальное число акустических сигналов N_Σ зарегистрировано при растворении кристаллов галита. Количество зарегистрированных сигналов спустя 1000 с с начала процесса растворения во всех случаях было больше 50 000 имп. Увеличение чистоты кристаллов приводит к снижению N_Σ

до 35 000–40 000 имп. или на 25–30%. Снижение активности и суммарного счета сигналов АЭ можно интерпретировать как исключение вклада движения газовых пузырьков в процесс генерации акустических сигналов.

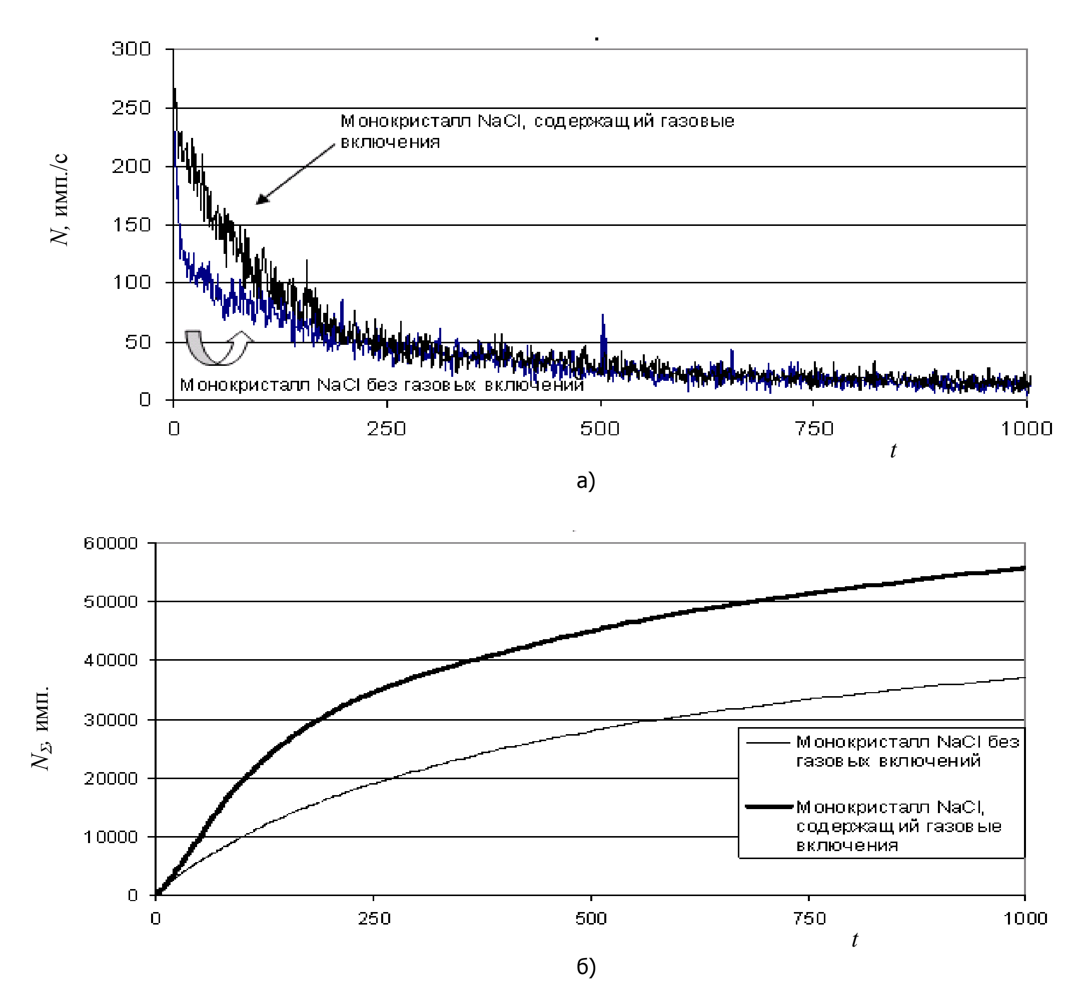


Рис. 5. Акустограммы процесса растворения оптически чистых кристаллов хлорида натрия и кристаллов галита: а – изменение активности АЭ; б – изменение суммарного счета АЭ

И тем не менее, можно считать установленным, что, в первую очередь, на индуцирование сигналов АЭ влияет природа растворяемых веществ и величина экзо- и эндоэффекта сольватации. Даже в случае растворения оптически чистых кристаллов количество сигналов АЭ достаточно велико и превышает на порядок суммарное количество сигналов АЭ, регистрируемое при растворении кристаллогидратов медного купороса $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и кристаллов хлорида бария $BaCl_2$.

Выводы.

1. Рассмотрены различные механизмы индуцирования акустических сигналов в жидкости в процессе растворения кристаллов. Акустическая эмиссия объективно отражает процессы сольватации жидких и твердых реагентов. Часть выделяющейся при этом энергии преобразуется в механическую работу сдвига микрообъемов, что проявляется в образовании акустических сигналов ультразвукового диапазона.

2. Показано, что снижение температуры жидкости в области нахождения кристалла в процессе его растворения является одним из факторов, вызывающих генерацию акустических волн. Это подтверждает одну из причин АЭ в процессе роста и растворения кристаллов – механизм возмущения плотности жидкой фазы за счет разницы температур на границе «жидкая фаза –

твердая фаза» и жидкой фазы в целом. Разница температур обусловлена наличием латентной энергии кристаллизации при фазовых переходах первого рода в жидкости.

3. При различных химических составах кристаллов акустическая картина сольватации и кристаллизации будет индивидуальной.

4. Показано, что выделение окклюдированных газов является значимым элементом АЭ при растворении кристаллов.

Библиографический список

1. Грешников В.А. Акустическая эмиссия / В.А. Грешников, Ю.Б. Дробот. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 241 с.

2. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении / Н.А. Семашко, В.И. Шпорт, Б.Н. Марьин [и др.]; под общ. ред. Н.А. Семашко. – М.: Машиностроение, 2002. – 240 с.

3. Кузнецов Д.М. Процесс графитации углеродных материалов. Современные методы исследования / Д.М. Кузнецов, В.П. Фокин. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2001. – 132 с.

4. Builo S.I. Acoustic Emission Testing and Diagnostics of the Kinetics of Physicochemical Processes in Liquid Media / S.I. Builo, D.M. Kuznetsov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2010. – V. 46, № 9. – P. 686–691.

5. О достоверности метода акустической эмиссии для оценки кинетики сольватации / В.Л. Гапонов, С.И. Буйло, Д.М. Кузнецов [и др.] // Вестн. развития науки и образования. – 2010. – № 5. – С. 42–51.

6. Kuznetsov D.M. Acoustic Emission on Phase Transformations in Aqueous Medium /D.M. Kuznetsov, A.N. Smirnov, A.V. Syroeshkin // Russian Journal of General Chemistry. – 2008. – V. 78. – № 11. – P. 2273–2281.

7. Смирнов А.Н. Генерация акустических колебаний в химических реакциях и физико-химических процессах / А.Н. Смирнов // Рос. хим. журн. – 2001. – Т. 45. – С. 29–34.

8. Жекамухов М.К. О механизме возникновения акустической эмиссии при кристаллизации и плавлении вещества / М.К. Жекамухов, Х.Б. Шокаров [Электронный ресурс]. – Ч.1. – Режим доступа: http://asp.tstu.ru/rus/52_ifg/731064.html.

9. Contribution of the Acoustic Emission Technique to Study Aluminum Behavior in Aqueous Alkaline Solution / J. Bernard, M. Boinet, M. Chatenet, F. Dalard // Electrochem. Solid-State Lett. – 2005. – V. 8, Issue 7. – P. E53–E55.

10. Жекамухов М.К. О природе высокочастотных акустических волн, возникающих при кристаллизации и плавлении веществ / М.К. Жекамухов, Х.Б. Шокаров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www2.fep.tsure.ru/books/conferenc/pem2000/pape1/ai21.pdf.

11. Жекамухов М.К. О механизме возникновения акустической эмиссии при кристаллизации и плавлении вещества / М.К. Жекамухов, Х.Б. Шокаров [Электронный ресурс]. – Ч.2. – Режим доступа: http://asp.tstu.ru/rus/52_ifg/731073.html.

12. Изучение процессов растворения шпинелей $ZnFe_{2-x}Cr_xO_4$ (x = 0,2; 1,8) в органическом и минеральном растворителях / П.Н. Козаченко, В.М. Таланов, Н.П. Шабельская, А.К. Ульянов // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 4. – С. 87–88.

Материал поступил в редакцию 07.09.11.

References

1. Greshnikov V.A. Akusticheskaya e`missiya / V.A. Greshnikov, Yu.B. Drobot. – M.: Izd-vo standartov, 1976. – 241 s. – In Russian.

2. Akusticheskaya e`missiya v e`ksperimental`nom materialovedenii / N.A. Semashko, V.I. Shport, B.N. Mar`in [i dr.]; pod obshh. red. N.A. Semashko. – M.: Mashinostroenie, 2002. – 240 s. – In Russian.

3. Kuzneczov D.M. Process grafitacii uglerodny`x materialov. Sovremenny`e metody` issledovaniya / D.M. Kuzneczov, V.P. Fokin. – Novocherkassk: YURGTU, 2001. – 132 s. – In Russian.

4. Builo S.I. Acoustic Emission Testing and Diagnostics of the Kinetics of Physicochemical Processes in Liquid Media / S.I. Builo, D.M. Kuznetsov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2010. – V. 46, # 9. – P. 686–691.

5. O dostovernosti metoda akusticheskoj e`missii dlya ocenki kinetiki sol`vatacii / V.L. Gaponov, S.I. Bujlo, D.M. Kuzneczov [i dr.] // Vestn. razvitiya nauki i obrazovaniya. – 2010. – # 5. – S. 42–51. – In Russian.

6. Kuznetsov D.M. Acoustic Emission on Phase Transformations in Aqueous Medium / D.M. Kuznetsov, A.N. Smirnov, A.V. Syroeshkin // Russian Journal of General Chemistry. – 2008. – V. 78. – # 11. – P. 2273–2281.

7. Smirnov A.N. Generaciya akusticheskix kolebanij v ximicheskix reakciyax i fiziko-ximicheskix processax / A.N. Smirnov // Ros. xim. zhurn. – 2001. – T. 45. – S. 29–34. – In Russian.

8. Zhekamuxov M.K. O mexanizme vozniknoveniya akusticheskoj e`missii pri kristallizacii i plavlenii veshhestva / M.K. Zhekamuxov, X.B. Shokarov [E`lektronny`j resurs]. – Ch.1. – Rezhim dostupa: http://asp.tstu.ru/rus/52_ifg/731064.html. – In Russian.

9. Contribution of the Acoustic Emission Technique to Study Aluminum Behavior in Aqueous Alkaline Solution / J. Bernard, M. Boinet, M. Chatenet, F. Dalard // Electrochem. Solid-State Lett. – 2005. – V. 8, Issue 7. – P. E53–E55.

10. Zhekamuxov M.K. O prirode vy`sokochastotny`x akusticheskix voln, voznikayushhix pri kristallizacii i plavlenii veshhestv / M.K. Zhekamuxov, X.B. Shokarov [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: www2.fep.tsure.ru/books/conferenc/pem2000/pape1/ai21.pdf. – In Russian.

11. Zhekamuxov M.K. O mexanizme vozniknoveniya akusticheskoj e`missii pri kristallizacii i plavlenii veshhestva / M.K. Zhekamuxov, X.B. Shokarov [E`lektronny`j resurs]. – Ch.2. – Rezhim dostupa: http://asp.tstu.ru/rus/52_ifg/731073.html. – In Russian.

12. Izuchenie processov rastvoreniya shpinelej $ZnFe_{2-x}Cr_xO_4$ (x = 0,2; 1,8) v organicheskom i mineral`nom rastvoritelyax / P.N. Kozachenko, V.M. Talanov, N.P. Shabel`skaya, A.K. Ul`yanov // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2007. – # 4. – S. 87–88. – In Russian.

OCCLUDED GASES EFFECT ON ACOUSTIC EMISSION UNDER CRYSTAL SALVATION

D.M. KUZNETSOV,
(Don State Technical University),
P.N. KOZACHENKO
(South-Russian State University of Economics and Service),
O.O. BARANNIKOVA
(Don State Technical University)

The acoustic emission following the salt solution processes is investigated. It is educed that the acoustic emission parameters depend on the substance chemistry. It is stated that irrespective of the crystal purity degree with their dissolution the total count of signals increases logarithmically, and activity of the acoustic emission decreases exponentially. It is shown that the occluded gases liberation is a crucial element of the acoustic emission under the crystal dissolution.
Keywords: *acoustic waves, crystallisation, salvation, occluded gases.*

УДК 532.593

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СЛОЕВ ЖИДКОСТИ

В.В. ТРЕПАЧЁВ
(Донской государственный технический университет)

Проведено исследование дифракционного движения двух слоев несжимаемой тяжелой жидкости вокруг вертикальной круговой опорной колонны. Использовано приближение твердой крышки для выделения воздействия только внутренней волны. Результаты исследования распространяются на все возможные масштабы волнового движения слоев жидкости как натурного наблюдения, так и лабораторного испытания.
Ключевые слова: *слои жидкости, опорная колонна, сила нагрузки, волна внутренняя, диссипация, дифракция, межфазное натяжение, приближение твердой крышки.*

Введение. Воздействие солнечного излучения на водную поверхность часто приводит к образованию летней устойчивой двухслойной стратификации жидкости в океане. Различные виды поверхностного опреснения жидкости также приводят к разделению одной и той же жидкости на два слоя разной плотности. На границе вод разной плотности существует межфазное натяжение, что подтверждено наблюдениями [1]. В технологиях очистки и переработки ряда жидкостей используют двухслойные пакеты жидкости, изолированные от внешней среды твердым дном и крышкой. Была предложена модель для точного выделения эффектов внутренней волны с помощью приближения твердой крышки. Эти положения использованы для обоснования применяемой теоретической модели. Возникновение неустойчивости Кельвина – Гельмгольца слоев жидкости при их течении под углом друг к другу изучено в [2]. Случай дифракции поверхностной волны на круговой опорной колонне в однослойной жидкости в [3] рассмотрен без учета влияния диссипации энергии и поверхностного натяжения. Таким образом, из полученных результатов теория вытекает в виде частного случая [3].

Постановка задачи. Рассмотрим движение двух слоев идеальной несжимаемой тяжелой жидкости в отсутствии вихрей. Верхний слой жидкости имеет постоянные плотность ρ_1 и толщину h_1, он сверху ограничен горизонтальной жесткой пластиной, называемой твердой крышкой. Нижний слой жидкости имеет постоянные плотность ρ_2 и толщину h_2, он снизу ограничен жестким горизонтальным дном. Стратификация жидких слоев является устойчивой, что соответствует неравенству $\rho_1 < \rho_2$. При этом более плотный слой жидкости находится внизу. Учитывается наличие действия малых рассевающих энергию массовых сил, которые пропорциональны скорости движения жидкости согласно теории, предложенной Рэлеем [4].

Считаем, что верхний и нижний слой имеют одинаковый коэффициент диссипации $\mu > 0$. При наличии сил диссипации Рэлея соблюдается теорема Лагранжа о сохранении потенциальности движения жидкости [4]. Потенциальное движение слоев жидкости описывается с помощью двух потенциалов скорости: Φ_1 для значений $0 < z < h_1$, Φ_2 при $-h_2 < z < 0$, где z – вертикальная координата. Начало декартовой системы координат $0xyz$ выбрано на невозмущенной границе раздела жидкостей. В направлении оси x распространяется внутренняя гармоническая волна, имеющая некоторую круговую частоту колебаний ω и волновое число k,

$$\eta_0 = \exp[-i(kx - \omega t)], \qquad (1)$$

где t – время, $\omega > 0$, i – мнимая единица, $k = k_1 - ik_2$, $k_1 > 0, k_2 > 0$. Длина волны равна $2\pi / k_1$. Плоская волна, имеющая постоянный амплитудный множитель η_0, затухает вдоль направления своего распространения, k_2 – коэффициент затухания бегущей волны. На границе раздела жидкостей учитывается влияние межфазного натяжения с помощью коэффициента меж-

фазного натяжения α. Внутри жидкости расположен жесткий неподвижный вертикальный круговой цилиндр, который занимает следующую осесимметричную область:

$$x^2 + y^2 \le a^2, \quad -h_2 \le z \le h_1. \tag{2}$$

Круговой цилиндр представляет собой препятствие на пути внутренней волны (1). Вся боковая поверхность цилиндра рассеивает внутреннюю волну. Поле рассеянных волн неизвестно и может быть найдено из решения краевой задачи во внешней области по отношению к круговому цилиндру (2). Вводим потенциалы скоростей и форму границы раздела слоев $\zeta(x, y, t)$:

$$\Phi_1 = \phi_1(x, y, z)e^{i\omega t}, \ \Phi_2 = \phi_2(x, y, z)e^{i\omega t}, \ \zeta = \eta(x, y)e^{i\omega t}. \tag{3}$$

Давление в разных слоях жидкости определяем с помощью интегральных соотношений линейной теории:

$$P_1 = -\rho_1[(i\omega + \mu)\phi_1 e^{i\omega t} + gz], \quad 0 < z < h_1; \qquad P_2 = -\rho_2[(i\omega + \mu)\phi_2 e^{i\omega t} + gz], \quad -h_0 < z < 0, \tag{4}$$

в которых опущены произвольные постоянные и функции времени [3, 4].

Постановка краевой задачи для потенциалов скорости принимает вид:

$$\frac{\partial^2\phi_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\phi_1}{\partial z^2} = 0, \quad 0 < z < h_1; \tag{5}$$

$$\frac{\partial^2\phi_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi_2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\phi_2}{\partial z^2} = 0, \quad -h_2 < z < 0; \tag{6}$$

$$\frac{\partial\phi_1}{\partial z} = \frac{\partial\phi_2}{\partial z} = i\omega\eta(x, y), \quad z = 0; \tag{7}$$

$$\rho_2\left[(\omega^2 - i\mu\omega)\phi_2 - g\frac{\partial\phi_2}{\partial z}\right] - \rho_1\left[(\omega^2 - i\mu\omega)\phi_1 - g\frac{\partial\phi_1}{\partial z}\right] - \alpha\frac{\partial^3\phi_2}{\partial z^3} = 0, \qquad z = 0; \tag{8}$$

$$\eta(x, y) = \eta_0 e^{-ikx} + \eta_2(x, y); \tag{9}$$

$$\eta_2(x, y) \to 0, \quad r^2 = x^2 + y^2 \to \infty; \tag{10}$$

$$\frac{\partial\phi_1}{\partial r} = 0, \quad r = a, \quad 0 < z < h_1; \quad \frac{\partial\phi_2}{\partial r} = 0, \quad r = a, \quad -h_2 < z < 0; \tag{11}$$

$$\frac{\partial\phi_1}{\partial z} = 0, \quad z = h_1; \quad \frac{\partial\phi_2}{\partial z} = 0, \quad z = -h_2. \tag{12}$$

Уравнения Лапласа (5), (6) получены из условий неразрывности для слоев несжимаемой жидкости. Кинематическое условие (7) указывает на непрерывность вертикальной скорости на границе раздела жидкостей. В (8) представлено динамическое условие на границе раздела слоев жидкостей, которое учитывает влияние эффекта межфазного натяжения наличием коэффициента α. Межфазное натяжение вызывает скачок нормального давления на границе раздела. Соотношение (9) отражает структуру рассматриваемого волнового движения слоев жидкости. Первое слагаемое имеет известное значение амплитуды η_0 и представляет собой бегущую волну, которая называется падающей внутренней волной. Соответственно второе слагаемое называется рассеянной волной $\eta_2(x, y)$. Диссипация энергии и кольцевая расходимость волн вызывают согласно условию (10) затухание волнового движения границы раздела для слоев жидкости на бесконечном расстоянии от начала координат. Граничные условия на боковой поверхности цилиндра в (11) указывают на отсутствие нормальной скорости жидких слоев на ней. Постоянная величина a равна радиусу вертикального цилиндра, рассеивающего на своей поверхности волну (1).

Граничные условия на горизонтальных поверхностях в (12) указывают на отсутствие нормальной скорости жидкости на них. Граничные условия (11) и (12) называются условиями непроницаемости для поверхностей, ограничивающих область течения идеальной жидкости.

Построение решения. Решение для потенциалов скорости краевой задачи (1) – (12) имеет вид функций:

$$\phi_1(x,y,z) = -\frac{i\omega \operatorname{ch}\left[k(z-h_1)\right]}{k \operatorname{sh}(kh_1)}\eta(x,y); \tag{13}$$

$$\phi_2(x,y,z) = \frac{i\omega \operatorname{ch}\left[k(z+h_2)\right]}{k \operatorname{sh}(kh_2)}\eta(x,y), \tag{14}$$

которые удовлетворяют кинематическому условию (7), граничным условиям непроницаемости на горизонтальных плоскостях в виде дна и твердой крышки в (12). Функция $\eta(x,y)$, заданная соотношением (9), содержит неизвестное слагаемое в виде внутренней волны $\eta_2(x,y)$, рассеянной на цилиндре. Рассеянная внутренняя волна $\eta_2(x,y)$ удовлетворяет уравнению Гельмгольца

$$\frac{\partial^2\eta_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\eta_2}{\partial y^2} + k^2\eta_2 = 0, \tag{15}$$

а также двум граничным условиям:

$$\frac{\partial\eta_2}{\partial r} = -\eta_0\frac{\partial e^{-ikx}}{\partial r}, \quad r = a; \tag{16}$$

$$\eta_2(r,\theta) \to 0, \quad r \to \infty. \tag{17}$$

Декартовы координаты и полярные координаты в формулах (15) – (17) связаны известными соотношениями: $x = r\cos\theta$, $y = r\sin\theta$, $r = \sqrt{x^2+y^2}$.

Волновое число, входящее в соотношения (1), (9), (13), (14), (16) и уравнение (15), удовлетворяет дисперсионному соотношению внутренней волны на границе раздела двух слоев жидкостей

$$(\omega^2 - i\omega\mu)[\operatorname{cth}(kh_2) + \gamma\operatorname{cth}(kh_1)] = gk[(1-\gamma) + \beta k^2]. \tag{18}$$

Определяем параметры γ, β, которые входят в дисперсионное уравнение (18),

$$\gamma = \frac{\rho_1}{\rho_2}, \quad \beta = \frac{\alpha}{\rho_2 g}. \tag{19}$$

Параметр γ имеет смысл относительной плотности слоев жидкости. В случае

$$0 \le \gamma < 1 \tag{20}$$

движение двухслойной жидкости устойчиво по Кельвину – Гельмгольцу [2]. Действительно, принимая $\mu = 0$, находим из (18), что каждому действительному значению волнового числа k соответствует два действительных значения частоты колебаний ω при выполнении двойного неравенства (20). Полагая $\mu = 0$, $\gamma = 0$ в уравнении (18), выводим в виде частного случая дисперсионное соотношение для поверхностных волн [3].

В рассматриваемой задаче частота колебаний принимает действительное значение, а волновое число – комплексное число, удовлетворяющее неравенствам, наложенным на его действительную и мнимую части в (1). Экспоненту, входящую в условие (16), следует представить в виде тригонометрического ряда согласно формуле 8.511_4 из [6]

$$e^{-kr\cos\theta} = \sum_{m=0}^{\infty}\varepsilon_m(-i)^m J_m(kr)\cos(m\theta), \tag{21}$$

где $J_m(z)$ – функция Бесселя первого рода [6], $\varepsilon_0 = 1$, $\varepsilon_1 = 2$, $\varepsilon_2 = 2, \dots$.

Решение уравнения Гельмгольца (15) отыскиваем в виде разложения по функциям Бесселя третьего рода (функциям Ханкеля) $H_m^{(2)}(z)$ [6], которые удовлетворяют условию убывания на бесконечности (17) при комплексном значении волнового числа

$$\eta_2(r,\theta)=\sum_{n=0}^{\infty}B_nH_n^{(2)}(kr)\cos(n\theta),\quad r\ge a. \tag{22}$$

Неизвестные коэффициенты B_n определяются из граничного условия на поверхности цилиндра (16)

$$B_n=-\frac{\varepsilon_n(-i)^nJ_n'(\xi)}{H_n'^{(2)}(\xi)}\eta_0,\quad \xi=ka, \tag{23}$$

где штрих означает первую производную по безразмерной переменной $\xi=ka$, которая имеет смысл безразмерного волнового числа. Построенное решение уравнения Гельмгольца (15) удовлетворяет всем поставленным условиям, т. е. (16) и (17).

Подставляя (22) и (23) в (9), находим формулу для расчета формы поверхности для границы раздела слоев жидкости $\eta(r,\theta)$ в виде ряда в полярной системе координат

$$\eta(r,\theta)=\eta_0\sum_{n=0}^{\infty}\varepsilon_n(-i)^n\left[J_n(kr)-\frac{J_n'(\xi)}{H_n'^{(2)}(\xi)}H_n^{(2)}(kr)\right]\cos(n\theta),\ r\ge a. \tag{24}$$

Формула (24) описывает суперпозицию падающей волны и рассеянной волны. Подставляя формулу (24) в соотношения (13) и (14), определяем формулы расчета потенциалов скоростей, преобразованные формулы (13) и (14) в каждое интегральное соотношение линейной теории (4), находим законы распределения давления в каждом из слоев жидкости.

Полагая, что $r=a$ в (4), выводим законы распределения давления слоев жидкости на поверхности вертикальной круговой колонны

$$P_1(a,\theta,z)=-\rho_1\left[(\omega^2-i\mu\omega)\frac{\operatorname{ch}\left[k(z-h_1)\right]}{k\operatorname{sh}(kh_1)}\eta(a,\theta)e^{i\omega t}+gz\right],\quad 0<z<h_1; \tag{25}$$

$$P_2(a,\theta,z)=\rho_2\left[(\omega^2-i\mu\omega)\frac{\operatorname{ch}\left[k(z+h_2)\right]}{k\operatorname{sh}(kh_2)}\eta(a,\theta)e^{i\omega t}-gz\right],\quad -h_2<z<0.$$

Давление состоит из динамической и гидростатической составляющих. Функция $\eta(a,\theta)e^{i\omega t}$ в (25) определяет форму возвышения границы раздела непосредственно на самой поверхности цилиндрической колонны

$$\eta(a,\theta)=-\frac{2i\eta_0}{\pi\xi}\sum_{n=0}^{\infty}\varepsilon_n(-i)^n\frac{\cos(n\theta)}{H_n'^{(2)}(\xi)}. \tag{26}$$

Формула амплитуды колебаний (26) выводится из (24) с помощью соотношения 8.477_1 из [6].

Сила $\bar{F}$, действующая на цилиндрическую опору, находится путем вычисления поверхностного интеграла от законов распределения давления слоев жидкости на поверхности колонны (25) и имеет вид

$$\bar{F}=-a\int_0^{2\pi}\cos\theta\left(\int_{-h_2}^{0}P_2(a,\theta,z)dz+\int_0^{h_1}P_1(a,\theta,z)dz\right)d\theta\,\bar{i}=$$

$$=\frac{4(\rho_2-\rho_1)g\eta_0}{\xi H_1'^{(2)}(\xi)}\frac{a[(1-\gamma)+\beta k^2]}{k[\operatorname{cth}(kh_2)+\gamma\operatorname{cth}(kh_1)]}e^{i\omega t}\,\bar{i},\quad \xi=ka, \tag{27}$$

где $\bar{i}$ – единичный вектор, направленный вдоль оси *x*. Решение для случая однослойной жидкости, которое описывает только воздействие поверхностных волн на вертикальную колонну [3], вытекает из полученного решения в виде частного случая, соответствующего значениям плотности верхнего слоя $\rho_1=0$, коэффициента диссипации энергии $\mu=0$, коэффициента межфазного натяжения $\alpha=0$.

Заключение. 1. Давление слоев жидкости на поверхность колонны (25) испытывает скачок первого рода на границе раздела.

2. Увеличение межфазного натяжения при фиксированном значении волнового числа увеличивает величину модуля силовой нагрузки (27).

3. Уменьшение скачка плотности $\rho_2 - \rho_1$ при фиксированном значении волнового числа уменьшает величину модуля силовой нагрузки (27).

Библиографический список

1. Айзатуллин Т.Ф. Океан. Активные поверхности и жизнь / Т.Ф. Айзатуллин, В.Л. Лебедев, К.М. Хайлов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 192 с.
2. Трепачёв В.В. Неустойчивость Кельвина – Гельмгольца потоков жидкости, текущих под углом друг к другу над ровным дном / В.В. Трепачёв, Г.Н. Трепачёва // Соврем. проблемы механики сплош. среды: тр. XIV Междунар. конф. – Т. 2. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2010. – С. 286–289.
3. Хаскинд М.Д. Гидродинамическая теория качки корабля / М.Д. Хаскинд. – М.: Наука, 1973. – 327 с.
4. Сретенский Л.Н. Теория волновых движений жидкости / Л.Н. Сретенский. – М.: Наука, 1977. – 816 с.
5. Вапняр Д.И. Планетарные волны и течения в экваториальной зоне океана / Д.И. Вапняр. – Киев: Наукова думка, 1976. – 222 с.
6. Градштейн И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений: справочник / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М.: Наука, 1971. – 1108 с.

Материал поступил в редакцию 20.07.11.

References

1. Ajzatullin T.F. Okean. Aktivny`e poverxnosti i zhizn` / T.F. Ajzatullin, V.L. Lebedev, K.M. Xajlov. – L.: Gidrometeoizdat, 1979. – 192 s. – In Russian.
2. Trepachyov V.V. Neustojchivost` Kel`vina – Gel`mgol`cza potokov zhidkosti, tekushhix pod uglom drug k drugu nad rovny`m dnom / V.V. Trepachyov, G.N. Trepachyova // Sovrem. problemy` mexaniki splosh. sredy`: tr. XIV Mezhdunar. konf. – T. 2. – Rostov n/D: Izd-vo YUFU, 2010. – S. 286–289. – In Russian.
3. Xaskind M.D. Gidrodinamicheskaya teoriya kachki korablya / M.D. Xaskind. – M.: Nauka, 1973. – 327 s. – In Russian.
4. Sretenskij L.N. Teoriya volnovy`x dvizhenij zhidkosti / L.N. Sretenskij. – M.: Nauka, 1977. – 816 s. – In Russian.
5. Vapnyar D.I. Planetarny`e volny` i techeniya v e`kvatorial`noj zone okeana / D.I. Vapnyar. – Kiev: Naukova dumka, 1976. – 222 s. – In Russian.
6. Gradshtejn I.S. Tablicy` integralov, summ, ryadov i proizvedenij: spravochnik / I.S. Gradshtejn, I.M. Ry`zhik. – M.: Nauka, 1971. – 1108 s. – In Russian.

LIQUID LAYERS MOTION INVESTIGATION

V.V. TREPACHEV
(Don State Technical University)

The diffraction motion of two layers of the incompressible heavy liquid around the vertical circular support column is investigated. The hard cover approaching is used to distinguish internal wave alone. The research data are extended to the utmost scope of the wave motion of the liquid layers of both the field studies and lab tests.
Keywords: *liquid layers, support column, load force, internal wave, dissipation, diffraction, interfacial tension, hard cover approaching.*

УДК 519.6:501

ПРИМЕНЕНИЕ БИОИНСПИРИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТОКСИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ*

Д.С. ГИРШ, Е.Н. ЛАДОША, С.Н. ХОЛОДОВА, Д.С. ЦЫМБАЛОВ
(Донской государственный технический университет)

Предложены оригинальные модификации генетических алгоритмов для расчета стационарных состояний динамических систем химической природы, в том числе двигателей внутреннего сгорания, при заданных термодинамических параметрах. Особенностью разработки является разнесение малых и больших параметров уравнений между уравнениями и алгоритмом их решения. Наряду с известными нейросетевыми методиками разработка интегрируется в состав имитационной системы «Мотор».
Ключевые слова: *генетические алгоритмы, нейросети, горение, выхлопные газы, токсичность.*

Введение. При изучении внутрицилиндровых процессов в поршневом двигателе внутреннего сгорания (ДВС) методами нелинейной динамики две практически важные задачи проблематично решить регулярными численными методами [1]. Первая состоит в отыскании стационарных и/или равновесных состояний, вторая – в быстром прогнозировании отклика эволюционирующей физико-химической системы на управляющие воздействия. Источник трудностей – высокая размерность и многомасштабность рабочего процесса ДВС как динамической системы. Определенные надежды в предметных исследованиях возлагаются на генетические алгоритмы и нейросети [2].

Применительно к компьютерной имитации рабочего процесса в ДВС авторами разработаны оригинальные вычислительные методы:

– генетический алгоритм отыскания равновесного и/или стационарного состояния физико-химической системы с реакциями и фазовыми переходами;

– процедура оценивания решения задачи Коши применительно к впрыску, смесеобразованию, горению и образованию токсичных веществ в условиях ДВС.

Постановка задачи. Определение равновесного состава некоторой фиксированной массы реагирующей, например, однофазной среды при заданных температуре и давлении, осуществляется путем минимизации суммарного термохимического потенциала системы [3]

$$G = \sum_j \frac{m_j}{\mu_j} \cdot \left[g_j + RT \left(\ln(M \cdot P) + \ln\left(\frac{m_j}{\mu_j} \right) \right) \right] \to \min \tag{1}$$

при материальных ограничениях

$$\alpha \mathbf{m} - \mathbf{m}_a = \mathbf{0} . \tag{2}$$

В (1), (2) α – массовая доля атомов i-го сорта в веществе j, $\alpha = \{\alpha_{i,j}\}$; $\mathbf{m}$ – вектор масс веществ, $\mathbf{m} = \{m_j\}$; $\mathbf{m}_a$ – вектор масс атомов сорта, $\mathbf{m}_a = \{m_{ai}\}$; μ_j и g_j – молярная масса j-го вещества и его химический потенциал соответственно; M и P – общие масса и давление соответственно; $g_j(T) = H_j + Cp_j(T - 298) - T(S_j + Cp_j \ln T / 298)$, где H_j, Cp_j, S_j – энтальпия образования, теплоемкость при постоянном давлении и энтропия j-го вещества при температуре T = 298 К соответственно.

* Работа выполнена при поддержке Фонда ALCOA.

Минимизированию (1), (2) посредством известных генетических алгоритмов [1] препятствуют жесткие ограничения (2): обычно вместо условного минимума (1), (2) ищут абсолютный минимум модифицированного функционала

$$G = \sum_j \frac{m_j}{\mu_j}\left[g_j + RT\left(\ln(MP) + \ln\left(\frac{m_j}{\mu_j}\right)\right)\right] + \lambda(\alpha\mathbf{m} - \mathbf{m}_a)^2 \to \min . \quad (3)$$

Метод решения. Классические генетические алгоритмы применяют для задач минимизации на компакте параметров:

$$F(\vec{x}) \to \min \quad (4)$$

$$a_i \ge x_i \ge b_i, \quad i = 1,2...N . \quad (5)$$

Если в задаче имеются еще ограничения типа

$$\vec{g}(\vec{x}) \le \vec{0} \text{ – покомпонентно,} \quad (6)$$

их модифицируют следующим образом:

$$\vec{\tilde{g}}(x,\sigma) = \vec{g}(\vec{x}) + \vec{\sigma} = \vec{0}, \ \sigma_j \ge 0, \ j = 1,2...M . \quad (7)$$

Задача сводится к

$$\tilde{F}(\vec{x},\vec{\sigma},\vec{\lambda}) = F(\vec{x}) + \sum_{j=1}^{M} \lambda_j \cdot \left\| \tilde{g}_j(\vec{x},\sigma_j) \right\| \to \min \quad (8)$$

с ограничением (5), где $\lambda_j > 0$, $j = 1,2...M$ подбирается исследователем из расчета $\lambda_j \sim \dfrac{\|F(\vec{x})\|}{\|\tilde{g}_j(\vec{x},\sigma_j)\|}$. Норму здесь берут евклидову $\|\tilde{g}_j(\vec{x},\vec{\sigma})\| = \left(\tilde{g}_j(\vec{x},\vec{\sigma})\right)^2$, а для подбора $\vec{\lambda}$ используют норму Чебышева, т. е. $\lambda_j \sim \dfrac{\max_{a_i \ge x_i \ge b_i}\left(|F(\vec{x})|\right)}{\max_{a_i \ge x_i \ge b_i}\left(\tilde{g}_j(\vec{x},\sigma_j)\right)}$.

При высокой размерности i, j задачи вероятность выхода популяции на ограничения (1) ничтожна, и процесс поиска приходится обрывать в одном из локальных минимумов. Понижение размерности системы путем исключения компонентов на основании (1) приводит к артефактам типа отрицательных концентраций или масс.

Принципиальная новизна предлагаемого подхода состоит в переносе ограничений (2) из адаптивной функции в кодировку хромосома: в классическом алгоритме кодировка гена ограничена фиксированным интервалом [*a*, *b*], а в модифицированном этот интервал приобретает определенную подвижность в соответствии с ограничениями (2). При каждой генерации гена ищутся граничные значения *a* и *b* с учетом реализации предыдущего гена и ограничений (2). Физические соображения позволяют заметно сузить интервал локализации экстремума как сверху (ресурсом свободных атомов), так и снизу (устранением невязки материального баланса). Фактически алгоритм позволяет выбрать базовые компоненты. Резюмируя, грубые локализующие свойства ограничений (2) выносятся в алгоритм, а тонкие уточняющие сохраняются в самих уравнениях.

Если в классическом алгоритме кодировка гена ограничена фиксированным интервалом $[a,b]$, то в модифицированном этот интервал приобретает определенную подвижность в соответствии с ограничениями (5), (6). При каждой генерации гена ищутся граничные значения a и b с учетом реализации предыдущего гена и действующих ограничений, т. е. для каждого i-го гена $i = 1...N-1$ ищется максимум при линейных ограничениях (10) и условии (11):

$$m_i \to \max \quad (9)$$

при линейных ограничениях

$$\begin{cases} \alpha_{1i}m_i + \alpha_{12}m_{i+1} + \ldots + \alpha_{1N}m_N = m_{a1} - \sum_{j=1}^{i-1}\alpha_{1j}m_j \\ \alpha_{2i}m_i + \alpha_{22}m_{i+1} + \ldots + \alpha_{2N}m_N = m_{a2} - \sum_{j=1}^{i-1}\alpha_{2j}m_j \\ \ldots \\ \alpha_{Mi}m_i + \alpha_{Mi}m_{i+1} + \ldots + \alpha_{MN}m_N = m_{aM} - \sum_{j=1}^{i-1}\alpha_{Mj}m_j \end{cases} \quad (10)$$

$$N+1-i$$

и условиях

$$m_i \geq m_{\min\, i}\,,\ i = 1,2\ldots N\,. \quad (11)$$

В результате находится верхний предел значения m_i, т. е. соответствующее значение b. Генерация гена происходит также случайно, но уже с вновь вычисленным значением b, т. е. $m_i \in \left[a, b\left(m_k\right)\right]$, где $k = 1\ldots i-1$. Соответственно первый элемент зависит только от ограничений (2). Решая на каждом шаге систему (9) – (11), например симплекс-методом, находим вектор m. Так формулируется универсальная методика нахождения минимума функционала с линейными ограничениями при помощи генетического алгоритма. Важно отметить, что система уравнений имеет высокую размерность только для первых m.

Предложенная здесь модификация гарантирует выполнение различных сложных ограничений. При использовании в алгоритме гена большой длины (обычно применяют кодирование минимальной длиной 2 байта) и умеренного числа элементов этот алгоритм быстрее классического. Максимальное число итераций для классического алгоритма $P_{кл}$ и модифицированного $P_{м}$ можно рассчитать по формулам

$$P_{кл} = 2^L M\,, \quad (12)$$

$$P_{м} = N^2 M\,, \quad (13)$$

где L – длина гена, M – число ограничений, N – число элементов в системе. Из формул (12), (13) следует, что модифицированный алгоритм эффективен при $N < 2^{L/2}$. При хорошей точности $N < 2^{16/2} = 256$, а при высокой – $N < 2^{32/2} = 65536$.

Усовершенствованный алгоритм в сочетании со стандартным симплекс-методом решения (9)–(11) требует объемных вычислений при каждой генерации гена и таким образом оказывается неэффективным при решении задачи (1), (2). Поэтому здесь можно воспользоваться свойством системы $\alpha_{ij} \geq 0$ и не решать (9)–(11), а просто ограничить следующий генерируемый ген остатками масс элементов:

$$b_i = \min_{k\in[1,M]}\left(\frac{m_{ak} - \sum_{j=1}^{i-1}\alpha_{kj}m_j}{\alpha_{ki}}\right). \quad (14)$$

Фактически предлагаемый способ реализует выбор самим генетическим алгоритмом базовых компонентов в реагирующей системе, однако при этом не гарантируется строгое соблюдение материального баланса. Это несовершенство метода легко устраняется классической коррекцией, состоящей в замене минимизации (1), (2) на минимизацию (3). Таким способом локализующие масштабные свойства ограничений (2) вынесены в алгоритм, а тонкие уточняющие – в уравнения. В основу предложенного разделения масштабов положены естественные физические соображе-

ния: они позволяют заметно сузить интервал локализации экстремума как сверху – ресурсом свободных атомов, так и снизу – устранением невязки материального баланса.

При введении в систему свободных химических элементов (что не противоречит физическим законам, но в некоторых случаях нежелательно ввиду их низкой концентрации) ограничение по минимальному остатку элемента удовлетворяет условиям (2) всегда: остаток элемента выступает как компонент системы. Такой подход является более общим при рассмотрении систем с большим числом элементов, компонентов и реакций.

Реализация и результаты вычислительного эксперимента. Интерфейс компьютерной реализации алгоритма показан на рис. 1. Термохимические константы реагентов, продуктов и промежуточных веществ хранятся в проблемно-ориентированной БД. На данный момент также реализованы функции импорта первичной термодинамической информации из стандарта программы STANJAN [4].

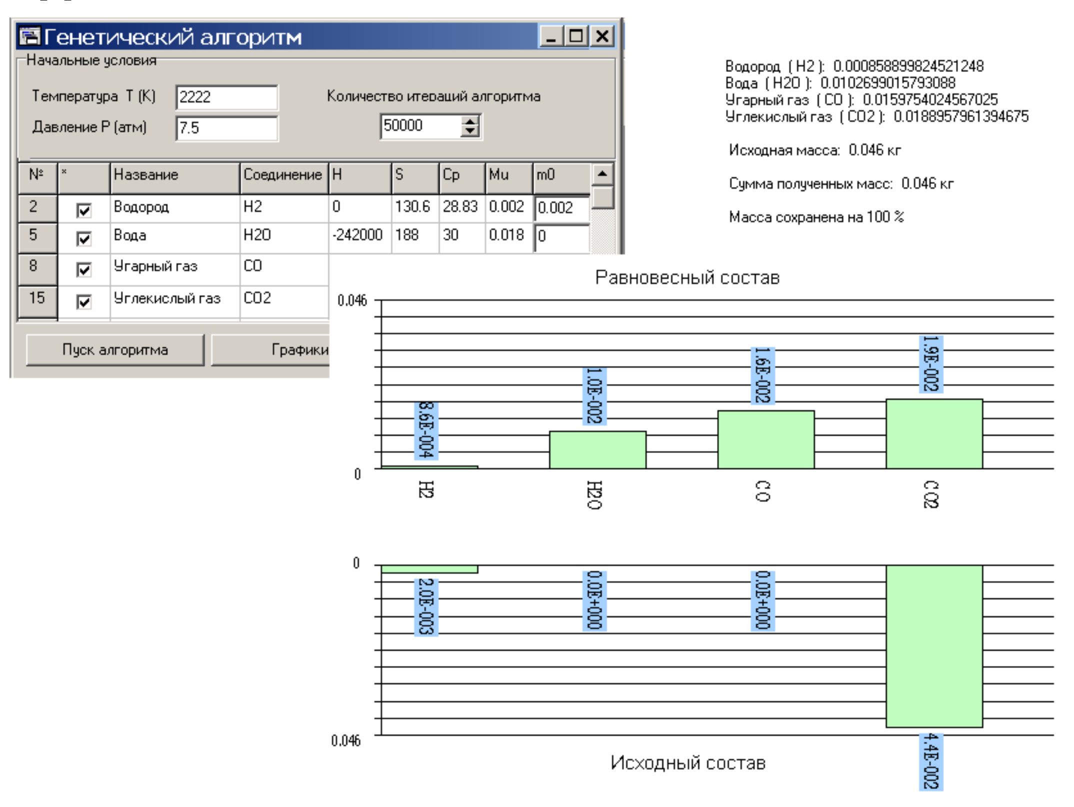


Рис. 1. Результат расчета равновесного состава в системе
CO_2 (1 моль) + H_2 (1 моль) ↔ CO + H_2O при T = 2222 К, P = 7,5 атм

Верификация алгоритма осуществлялась на интересных для авторов системах: крекинг углеводородов, горение традиционных нефтегазовых и перспективных спиртовых моторных топлив, продукты сгорания различных ракетных топлив. Пример такого сопоставительного расчета приведен на рис. 2: посредством усовершенствованного генетического алгоритма определен равновесный состав системы H_2O – H_2 – OH – O_2 – O – H при давлении 5 атм в диапазоне температур 2000–6000 К. Результаты сопоставления рассчитанного равновесного состава продуктов сгорания различных моторных и ракетных топлив с данными работ [5], [6] свидетельствуют, что главные компоненты химического равновесия определяются предложенным методом вполне надежно.

Во всех изученных системах содержание основных компонентов определялось при помощи усовершенствованного генетического алгоритма с приемлемой погрешностью. Зная содержание всех ведущих компонентов, нетрудно рассчитать также важные, например, в плане токсичности, малые составляющие равновесной смеси. Это ценно, поскольку размерность задачи существенно

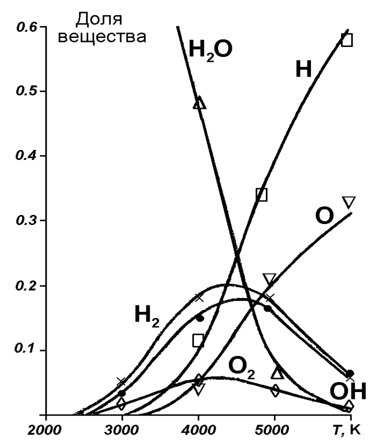


Рис. 2. Рассчитанные парциальные концентрации компонентов: Δ – H_2O, × – H_2, • – OH, ◊ – O_2, □ – H, ∇ – O (сплошные линии – эталонные данные [6])

зависит от того, насколько верно удается априорно выбрать номенклатуру главных компонентов в химическом равновесии.

Перспективы развития биоинспирированных методов. Отрабатываемый авторами нейросетевой алгоритм быстрого оценивания решения задачи Коши сейчас «обучается» на фрагментных задачах:

– имитация динамики распыла – испарения в условиях дизеля;

– прогнозирование мощности и экономичности рабочего цикла по входным параметрам;

– определение содержания токсичных веществ в отработавших газах.

Следует отметить, что если «обучение» возможностям первой и второй задачи удается ограничить расчетными «обучающими» данными, для уверенного прогнозирования токсичности выхлопа приходится привлекать экспериментальный материал. Тем не менее, об адекватности этого алгоритма целям совершенствования программного комплекса «Мотор» [7], [8] свидетельствует успешность «обучения» нейросети на результатах представительного множества численных расчетов. Сеть позволяет прогнозировать токсичность выхлопа известного ей двигателя в пределах обучающей выборки. Однако в силу существенной нелинейности внутрицилиндровой физико-химической кинетики надежность такого прогнозирования пока недостаточна.

Внедрение новых биоинспирированных имитационно-аналитических средств в состав системы «Мотор», интерфейс и некоторые возможности которой показаны на рис. 3, расширяет ее функциональность, прежде всего, в части приспособленности для комплексной оптимизации и управления внутрицилиндровыми процессами.

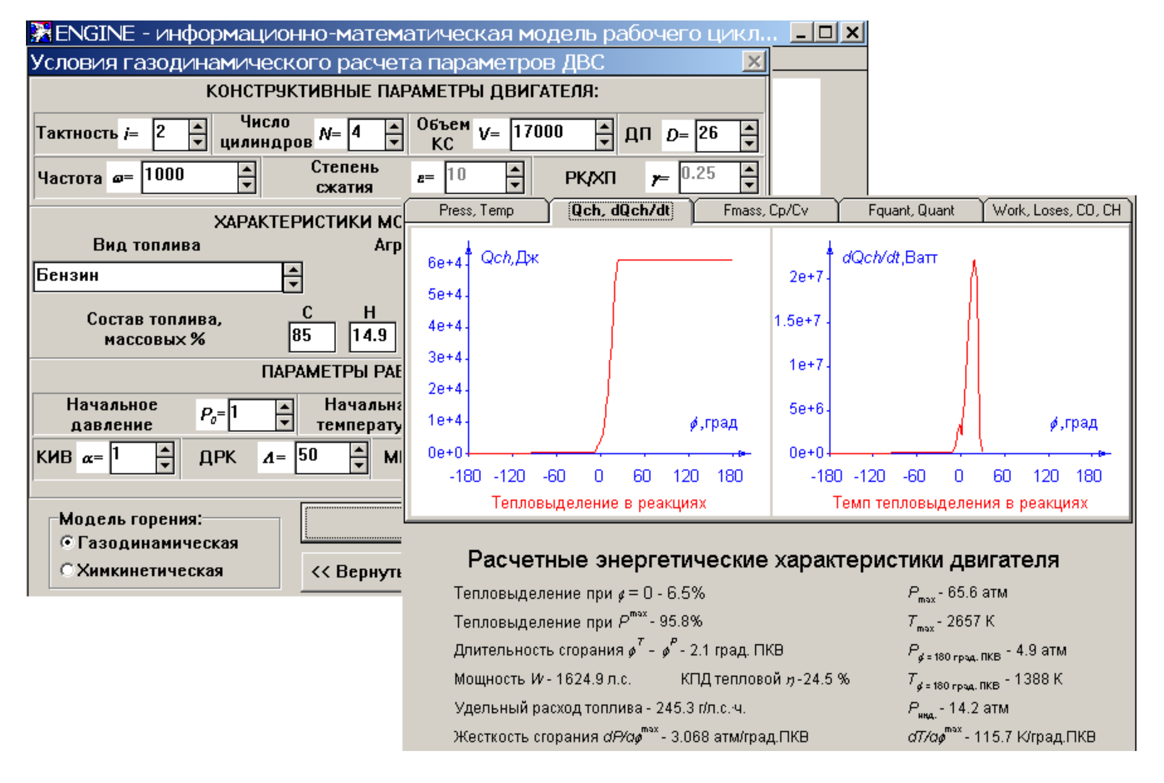


Рис. 3. Интерфейс и функциональность программного комплекса «Мотор» [8]

Заключение. Предложено усовершенствование генетического алгоритма для расчета стационарных состояний динамических систем химической природы, например, двигателя внутреннего сгорания. Особенностью разработки является разнесение малых и больших параметров уравнений между уравнениями и алгоритмом их решения.

На данный момент интегрированная в комплекс «Мотор» [7], [8] система моделей и методов, в том числе биоинспирированных, позволяет:

– рассчитывать энергетические характеристики ДВС и токсичность выхлопа по CO, C_xH_y, RCHO, NO при использовании различных топлив и на переходных режимах;

– выявлять ведущие физико-химические процессы во внутрицилиндровой кинетике;

– анализировать динамику внутрицилиндровых процессов и вырабатывать способы их оптимизации;

– формулировать критерии параметрической оптимизации;

– разрабатывать эффективные способы управления.

Библиографический список

1. Физико-химические процессы в газовой динамике: компьютеризованный справочник / под ред. Г.Г. Черного, С.А. Лосева. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 434 с.

2. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 216 с.

3. Джонсон К. Численные методы в химии: пер. с англ. / К. Джонсон. – М.: Мир, 1983. – 288 с.

4. Reynolds W.C. The element potential method for chemical equilibrium analysis: implementation in the interactive program STANJAN version 3 / W.C. Reynolds. – Stanford: Dept. of Engineering, Stanford University, 1986.

5. Щетинков Е.С. Физика горения газов / Е.С. Щетинков. – М.: Наука, 1965. – 740 с.

6. Алемасов В.Е. Теория ракетных двигателей / В.Е. Алемасов. – М.: Оборонгиз, 1962. – 476 с.

7. Моделирование кинетики неравновесных физических процессов и реакций в многокомпонентном турбулентном заряде поршневых двигателей внутреннего сгорания / В.Н. Бакулин, Е.Н. Ладоша, В.А. Потопахин, О.В. Яценко // Мат. моделирование. – 2007. – Т. 19, № 12. – С. 81–97.

8. Системная имитация динамики поршневого ДВС: фазовые переходы, турбулентность, реакции / Е.Н. Ладоша, О.В. Яценко, Д.С. Цымбалов: свид. об офиц. рег. ПрЭВМ № 2009615832. – М.: РОСПАТЕНТ, 2009.

Материал поступил в редакцию 15.07.11.

References

1. Fiziko-ximicheskie processy` v gazovoj dinamike: komp`yuterizovanny`j spravochnik / pod red. G.G. Chyornogo, S.A. Loseva. – M.: Izd-vo MGU, 1995. – 434 s. – In Russian.

2. Rutkovskaya D. Nejronny`e seti, geneticheskie algoritmy` i nechyotkie sistemy` / D. Rutkovskaya, M. Pilin`skij, L. Rutkovskij; per. s pol`sk. I.D. Rudinskogo. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2006. – 216 s. – In Russian.

3. Dzhonson K. Chislenny`e metody` v ximii: per. s angl. / K. Dzhonson. – M.: Mir, 1983. – 288 s. – In Russian.

4. Reynolds W.C. The element potential method for chemical equilibrium analysis: implementation in the interactive program STANJAN version 3 / W.C. Reynolds. – Stanford: Dept. of Engineering, Stanford University, 1986.

5. Shhetinkov E.S. Fizika goreniya gazov / E.S. Shhetinkov. – M.: Nauka, 1965. – 740 s. – In Russian.

6. Alemasov V.E. Teoriya raketny`x dvigatelej / V.E. Alemasov. – M.: Oborongiz, 1962. – 476 s. – In Russian.

7. Modelirovanie kinetiki neravnovesny`x fizicheskix processov i reakcij v mnogokomponentnom turbulentnom zaryade porshnevy`x dvigatelej vnutrennego sgoraniya / V.N. Bakulin, E.N. Ladosha, V.A. Potopaxin, O.V. Yacenko // Mat. modelirovanie. – 2007. – T. 19, # 12. – S. 81–97. – In Russian.

8. Sistemnaya imitaciya dinamiki porshnevogo DVS: fazovy`e perexody`, turbulentnost`, reakcii / E.N. Ladosha, O.V. Yacenko, D.S. Cy`mbalov: svid. ob oficz. reg. PrE`VM # 2009615832. – M.: ROSPATENT, 2009. – In Russian.

APPLICATION OF BIO-INSPIRED TECHNIQUES TO MODEL TOXIC PARAMETERS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

D.S. GIRSH, E.N. LADOSHA, S.N. KHOLODOVA, D.S. TSYMBALOV
(Don State Technical University)

Some original modifications of the genetic algorithms for analyzing the stationary states of the chemical dynamic systems at the defined thermodynamic parameters, IC engines among others, are offered. The development feature is allocation of small and large equation parameters among the equations and their solutions. Along with the known neuronet methods, the development can be integrated in 'Engine' simulation system.
Keywords: *genetic algorithms, neuronets, combustion, exhaust, toxicity.*

УДК 621.95.08:51-74

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТНЫХ СВЯЗЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАВНОВЕСИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕЗАНИЯ

В.Л. ЗАКОВОРОТНЫЙ, ФАМ ДИНЬ ТУНГ, НГУЕН СУАН ТЬЕМ
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается проблема потери устойчивости динамической системы резания. Основное внимание уделяется влиянию запаздывающего аргумента, формируемого в зависимостях сил резания от упругих деформационных смещений инструмента относительно заготовки. Раскрываются механизмы потери устойчивости и анализируются области устойчивости в плоскости варьируемых параметров, характеризующих запаздывающие аргументы.

Ключевые слова: *процесс резания, устойчивость, скоростная связь.*

Введение. Существует два основных механизма потери устойчивости динамической системы резания. Один связан с непотенциальностью позиционных сил, формируемых процессом резания. В этом случае на устойчивость системы влияют формируемые естественным образом циркуляционные силы, связанные с кососимметричными суммарными матрицами упругости подсистемы инструмента и процесса резания. Второй обусловлен влиянием матрицы скоростных коэффициентов в динамической связи, формируемой процессом резания. Скоростные коэффициенты формируются в результате двух принципиально различных факторов. Во-первых, они зависят от запаздывающих аргументов изменения сил от координат упругих деформационных смещений. Запаздывающие аргументы имеют двоякую природу: запаздывание сил от деформационных смещений, формируемых в области первичной пластической деформации; дисбаланс сил в области первичной пластической деформации и сил, формируемых в области вторичной пластической деформации, что вызывает переходные процессы в области вторичной пластической деформации, направленные на уравновешивание указанных сил. Поэтому запаздывание силы F_2 характеризуется меньшим временем запаздывания по отношению к силе F_1 [1 – 3]. Запаздывание сил F_1 по отношению к силам F_2 отмечается во всех известных экспериментальных исследованиях. Во-вторых, они связаны с существованием участков с падающими зависимостями сил от скоростей. Необходимо учитывать, что падающие участки скоростной зависимости сил обусловлены действием так называемого температурно-скоростного фактора, учитывающего, с одной стороны, влияние скорости на производство тепла, с другой – влияние температуры на физико-механические характеристики материала в зоне резания.

Постановка задачи. Если ограничиться формальными представлениями не раскрывая механизмы формирования матриц скоростных коэффициентов, необходимо проанализировать влияние матриц скоростных коэффициентов на устойчивость точки равновесия системы. Для этого обратимся к базовой динамической модели процесса резания, обоснование которой было дано ранее в [1]:

$$m\frac{d^2X}{dt^2}+h\frac{dX}{dt}+cX=F\left(X,\frac{dX}{dt},a,b\right),\qquad (1)$$

где X – упругие деформационные смещения вершины инструмента относительно ее координаты без процесса резания, $X=\{X_1,X_2\}^T$; $F\left(X,\frac{dX}{dt},a,b\right)$ – вектор-функции, характеризующие динамическую связь, формируемую процессом резания, $F\left(X,\frac{dX}{dt},a,b\right)=\left\{F_1\left(X,\frac{dX}{dt},a,b\right),F_2\left(X,\frac{dX}{dt},a,b\right)\right\}^T$; a, b – толщина и ширина срезаемого

слоя, зависящие от величины подачи на оборот и глубины резания при заданных геометрических параметрах инструмента соответственно; m, h, c – матрицы инерционных, скоростных и упругих коэффициентов подсистемы инструмента без процесса резания соответственно, $m = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix}$, $h = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{2,1} \\ h_{1,2} & h_{2,2} \end{bmatrix}$, $c = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{2,1} \\ c_{1,2} & c_{2,2} \end{bmatrix}$.

Матрицы m, h и c симметричные и положительно определенные. Следовательно, при $F\left(X, \frac{dX}{dt}, a, b\right) = 0$ система (1) имеет единственную точку равновесия $X^* = \{0,0\}^T$, которая является асимптотически устойчивой. Необходимо выяснить, при каких условиях равновесие системы (1) является асимптотически устойчивым. Для этого необходимо проанализировать уравнение в вариациях относительно точки равновесия $X^* = \{X_1^*, X_2^*\}^T$, определяемой из системы (1) для установившегося состояния

$$cX^* = F(X^*, 0, a, b). \tag{2}$$

Таким образом, точка равновесия в динамической системе резания при заданной геометрии инструмента и матрице упругости c зависит от технологических режимов, которые определяют параметры a и b.

Уравнение в вариациях относительно точки равновесия $X^* = \{X_1^*, X_2^*\}^T$ для малых отклонений $x(t) = X(t) - X^*$ в линеаризованном представлении получаем из (1) с учетом (2)

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + h_\Sigma \frac{dx}{dt} + c_\Sigma x = 0, \tag{3}$$

где $c_\Sigma = \begin{bmatrix} c_{1,1} - \frac{\partial\phi_1}{\partial x_1} & c_{2,1} - \frac{\partial\phi_1}{\partial x_2} \\ c_{1,2} - \frac{\partial\phi_2}{\partial x_1} & c_{2,2} - \frac{\partial\phi_2}{\partial x_2} \end{bmatrix}$, $h_\Sigma = \begin{bmatrix} h_{1,1} - \frac{\partial\phi_1}{\partial \dot{x}_1} & h_{2,1} - \frac{\partial\phi_1}{\partial \dot{x}_2} \\ h_{1,2} - \frac{\partial\phi_2}{\partial \dot{x}_1} & h_{2,2} - \frac{\partial\phi_2}{\partial \dot{x}_2} \end{bmatrix}$, $\phi(x) = F(X, dX/dt, a, b) - F(X^*, 0, a, b)$.

В дальнейшем коэффициенты влияния линеаризованных реакций со стороны процесса резания обозначим $c^{(P)} = \left[c_{s,k}^{(P)}\right] = \left[\partial\phi_s / \partial x_k\right], s,k = 1,2$; $h^{(P)} = \left[h_{s,k}^{(P)}\right] = \left[\partial\phi_s / \partial \dot{x}_k\right], s,k = 1,2$. Это матрицы динамической жесткости и скоростных коэффициентов процесса резания. Влияние на устойчивость матриц $c^{(P)} = \left[c_{s,k}^{(P)}\right] = \left[\partial\phi_s / \partial x_k\right], s,k = 1,2$ изучено ранее. Изучим влияние на устойчивость матриц $h^{(P)} = \left[h_{s,k}^{(P)}\right] = \left[\partial\phi_s / \partial \dot{x}_k\right], s,k = 1,2$.

Механизмы потери устойчивости равновесия за счет скоростных коэффициентов. Так как матрицы h_Σ и c_Σ, учитывающие реакцию со стороны процесса резания, уже не являются симметричными, то их можно представить в виде сумм симметричных и кососимметричных составляющих $h_\Sigma = h_\Sigma^{(C)} + h_\Sigma^{(K)}$ и $c_\Sigma = c_\Sigma^{(C)} + c_\Sigma^{(K)}$. Для выяснения механизмов потери устойчивости за счет матриц скоростных коэффициентов h_Σ можно использовать следующий алгоритм анализа:

– вначале проанализируем механизм потери устойчивости рассматриваемой системы в предположении, что матрица c_Σ является симметричной и положительно определенной;

– затем выясним влияние на устойчивость несимметричных составляющих матриц h_Σ и c_Σ, которые формируют дополнительные взаимные связи, способные приводить к потере устойчивости равновесия системы.

Изучим условия потери устойчивости за счет вариации параметров $h_\Sigma^{(c)}$. Система в вариациях относительно точки равновесия в предположении, что $c_\Sigma^{(k)} = 0$, имеет вид

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + h_\Sigma^{(c)}\frac{dx}{dt} + c_\Sigma^{(c)}x + h_\Sigma^{(k)}\frac{dx}{dt} = 0\,. \tag{4}$$

Известно, что при условии, когда матрицы $c_\Sigma^{(c)}$ и m являются симметричными и положительно определенными, система имеет устойчивую, согласно Ляпунову, точку равновесия. Добавление к системе связей, формируемых матрицей $h_\Sigma^{(c)}$, преобразует устойчивую по Ляпунову систему в асимптотически устойчивую при условии, что матрица $h_\Sigma^{(c)}$ является положительно определенной. Известно, что в этом случае система имеет полную диссипацию [4]. Поэтому необходимым условием устойчивости равновесия системы является положительная определенность матрицы $h_\Sigma^{(c)}$. Пусть задана матрица h_Σ

$$h_\Sigma = \begin{bmatrix} [h_{1,1} + h_{1,1}^{(P)}] & [h_{2,1} + h_{2,1}^{(P)}] \\ [h_{1,2} + h_{1,2}^{(P)}] & [h_{2,2} + h_{2,2}^{(P)}] \end{bmatrix}, \tag{5}$$

где h – матрица демпфирования подсистемы инструмента, $h = \begin{bmatrix} [h_{1,1}] & [h_{2,1}] \\ [h_{1,2}] & [h_{2,2}] \end{bmatrix}$; $h^{(P)}$ – матрица скоростных коэффициентов, формируемая процессом резания, $h^{(P)} = \begin{bmatrix} [h_{1,1}^{(P)}] & [h_{2,1}^{(P)}] \\ [h_{1,2}^{(P)}] & [h_{2,2}^{(P)}] \end{bmatrix}$.

Получаем условие положительной определенности $h_\Sigma^{(c)}$

$$(h_{1,1} + h_{1,1}^{(P)})(h_{2,2} + h_{2,2}^{(P)}) - [h_{1,2} + 0,5(h_{1,2}^{(P)} + h_{2,1}^{(P)})]^2 > 0\,. \tag{6}$$

При этом не принимается во внимание матрица $h_\Sigma^{(k)} = \begin{bmatrix} 0 & 0,5(h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)}) \\ -0,5(h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)}) & 0 \end{bmatrix}$ в (5). Однако еще Кельвином и Тетом доказано [4], что гироскопические силы, формируемые матрицей $h_\Sigma^{(k)}$, лишь улучшают асимптотическую устойчивость системы при выполнении условия (6). Ими же доказано, что если условие (6) не выполняется, то гироскопические силы не могут стабилизировать равновесие системы. Поэтому условие (6) для системы (4) является также достаточным для обеспечения асимптотической устойчивости системы резания.

Например, если рассматривается процесс резания, у которого отношение величины подачи на оборот к глубине резания (отношение толщины срезаемого слоя к его ширине) есть величина малая, то условие (6) определяется выражением

$$\left(h_{1,1} - T_1\frac{\partial F_1}{\partial x_1}\right)\left(h_{2,2} - \frac{\partial F_2}{\partial \dot{x}_2}\right) - \left(h_{1,2} - 0,5T_2\frac{\partial F_2}{\partial x_1}\right)^2 > 0\,, \tag{7}$$

где T_1 – запаздывающий аргумент, определяющий запаздывание, формируемое в области первичной пластической деформации; T_2 – запаздывающий аргумент, определяющий запаздывание вариаций сил в области первичной и вторичной пластической деформаций; $\frac{\partial F_2}{\partial \dot{x}_2}$ – коэффициент, определяющий приращение тангенциальной силы, обусловленное приращением скорости резания при тангенциальных колебаниях инструмента относительно заготовки.

Анализ (7) показывает, что за счет матрицы скоростных коэффициентов, формируемой динамической связью, образованной процессом резания, существует множество сценариев, при которых эта система может потерять устойчивость, во-первых, при увеличении коэффициента

$\frac{\partial F_2}{\partial \dot{x}_2}$. Этот вопрос проанализирован в работах [5 – 7]. В скалярных моделях этот механизм потери устойчивости приводит к анализу уравнений Ван дер Поля или Рэлея, которые использовались для объяснения формирования автоколебаний при резании в работах [5 – 7]. Во-вторых, система резания может потерять устойчивость при увеличении коэффициента $T_1 \frac{\partial F_1}{\partial x_1}$, зависящего как от соответствующего коэффициента матрицы жесткости процесса резания, так и от величины запаздывания T_1. Этот механизм согласуется с данными В.А. Кудинова и его учеников [8]. Однако в отличие от этих работ анализ (7) показывает, что увеличение запаздывающего аргумента влияет на устойчивость не столь однозначно, так как при увеличении T_1 возрастает и величина T_2.

При этом необходимо учитывать, что в динамических системах резания обычно выполняется условие $\frac{\partial F_2}{\partial x_2} \gg \frac{\partial F_1}{\partial x_1}$. Кроме этого, все модели потери устойчивости, основанные на гистерезисных свойствах изменения сил при внедрении инструмента в заготовку и при его выходе, фактически рассматривают пространственное запаздывание [9 – 11]. Поэтому при заданной частоте его можно учесть и на основе временного запаздывания. Приведенный анализ показывает, что рассмотрение механизмов потери устойчивости на основе выполненных исследований, опирающихся на фундаментальные представления механики, позволяет не только учесть все известные механизмы потери устойчивости, но и существенно их дополнить.

Проанализируем возможность потери устойчивости процесса резания в результате связи между циркуляционными силами и матрицей скоростных коэффициентов. Выполненные выше рассуждения предполагали, что $c_\Sigma^{(k)} = 0$. Теперь учтем, что $c_\Sigma^{(k)} \neq 0$. Проанализируем систему

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + h_\Sigma^{(c)}\frac{dx}{dt} + c_\Sigma^{(c)}x + h_\Sigma^{(k)}\frac{dx}{dt} + c_\Sigma^{(k)}x = 0, \quad (8)$$

для которой выпишем характеристический полином в виде

$$\Delta(p) = P(p) + 0,5(h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)})(\delta c)p + 0,25(\delta c)^2, \quad (9)$$

где $P(p)$ – характеристический полином системы, т. е. системы без циркуляционных сил, $P(p) = (m_1p^2 + h_{1,1,\Sigma}p + c_{1,1,\Sigma})(m_2p^2 + h_{2,2,\Sigma}p + c_{2,2,\Sigma}) - (h_{2,1,\Sigma}h_{1,2,\Sigma})p^2 - 0,5(h_{2,1,\Sigma} + h_{1,2,\Sigma})(c_{2,1,\Sigma} + c_{1,2,\Sigma})p - -0,25(c_{2,1,\Sigma} + c_{1,2,\Sigma})^2$; δ – коэффициент жесткости, характеризующий асимметрию матрицы жесткости системы резания, $\delta c = c_{2,1,\Sigma} - c_{1,2,\Sigma} = c_{2,1}^{(P)} - c_{1,2}^{(P)}$.

В (9) учтено, что в подсистеме инструмента матрица m является диагональной, а матрицы $h = [h_{s,k}], s,k = 1,2$ и $c = [c_{s,k}], s,k = 1,2$ симметричны. Кроме этого, матрицы $h_\Sigma^{(c)} = [h_{s,k,\Sigma}^{(c)}], s,k = 1,2$, $c_\Sigma^{(c)} = [c_{s,k,\Sigma}^{(c)}], s,k = 1,2$ – положительно определенны. Гироскопические члены, формируемые кососимметричными составляющими матрицы скоростных коэффициентов, лишь улучшают асимптотическую устойчивость системы, поэтому можно утверждать, что все корни характеристического полинома $P(p)$ расположены в левой комплексной полуплоскости. Поэтому для определения устойчивости системы (8) необходимо выяснить преобразование корней за счет члена $0,5(h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)})(\delta c)p + 0,25(\delta c)^2$. Для этого удобно воспользоваться критерием устойчивости Михайлова [5]

$$H(j\omega) = P(j\omega) + 0,5(h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)})(\delta c)j\omega + 0,25(\delta c)^2.$$

Годограф Михайлова системы (8) $P(j\omega)$ преобразуется в годограф $H(j\omega)$ системы (8) за счет члена $0{,}5(h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)})(\delta c)j\omega + 0{,}25(\delta c)^2$ (рис. 1). На приведенной иллюстрации характер преобразования годографа Михайлова принципиально зависит от знаков и величин параметров $h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)}$ и δc. Если гироскопические члены отсутствуют ($h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)} = 0$), то исходный годограф смещается, как показано на рис. 1 пунктиром. Если параметры $h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)}$ и δc имеют различные знаки, то гироскопические члены совместно с циркуляционными лишь ухудшают устойчивость равновесия. В этом случае годограф $P(j\omega)$ преобразуется в годограф $H_2(j\omega)$. Если параметры $h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)}$ и δc имеют одинаковые знаки, то гироскопические члены могут стабилизировать равновесия системы, если точка равновесия потеряла устойчивость из-за циркуляционных членов. В этом случае годограф $P(j\omega)$ преобразуется в годограф $H_1(j\omega)$.

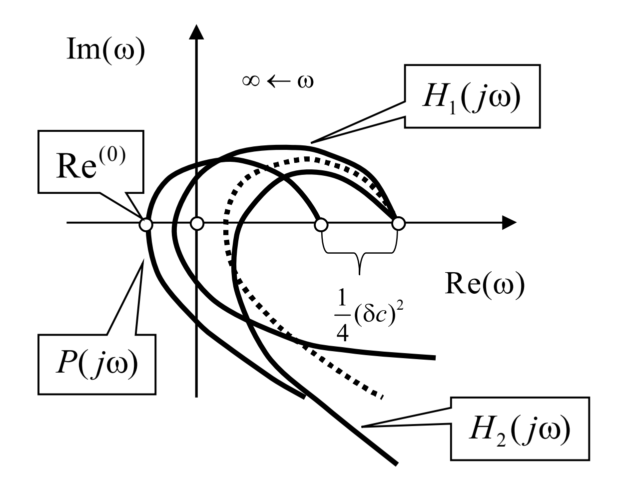


Рис. 1. Преобразование годографа Михайлова $P(j\omega)$ в годограф $H(j\omega)$

Раскроем смысл асимметрии матриц скоростных коэффициентов и матриц упругости со стороны процесса резания. Коэффициент $h_{1,2}^{(P)} = -T_2 c_{1,2}^{(P)}$ обычно является отрицательным и значительно превышает $h_{2,1}^{(P)}$. Поэтому для традиционной схемы процесса резания можно принять, что $h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)} > 0$. Коэффициент $\delta c = c_{2,1}^{(P)} - c_{1,2}^{(P)} < 0$, так как $c_{1,2}^{(P)} > 0$ и $c_{2,1}^{(P)} < c_{1,2}^{(P)}$. Это связано с тем, что $c_{1,2}^{(P)}$ определяется отношением приращения тангенциальной силы к смещению инструмента в нормальном направлении. Что касается коэффициента $c_{2,1}^{(P)}$, то он характеризует приращение нормальной силы к тангенциальным смещениям. Таким образом, характерный для резания случай соответствует различным знакам при коэффициентах $h_{2,1}^{(P)} - h_{1,2}^{(P)}$ и δc. В этом случае формирование гироскопической связи совместно со связью, формирующей циркуляционные силы, лишь ухудшает устойчивость системы.

Важно подчеркнуть, что формирование циркуляционных и гироскопических сил взаимосвязано. Кроме этого, коэффициент $c_{1,1}^{(P)}$ матрицы жесткости процесса резания влияет на коэффициент $h_{1,1,\Sigma}$ матрицы скоростных коэффициентов.

Анализ областей устойчивости в плоскости варьируемых параметров динамической характеристики процесса резания. Для оценки влияния матрицы скоростных коэффициентов на устойчивость системы удобно воспользоваться методом D-разбиения. Рассмотрим преобразо-

вание областей устойчивости динамической системы резания для наиболее важного случая, когда изгибными деформационными смещениями инструмента, а также зависимостью сил от вариаций скорости резания можно пренебречь. Кроме этого, примем во внимание, что запаздывание T_2 изменения сил, действующих в тангенциальном направлении, меньше, чем запаздывание T_1 в нормальном направлении, т. е. $T_1 > T_2$. В этом случае матрицы жесткости и скоростных коэффициентов в развернутом виде соответственно равны: $h_\Sigma = \begin{bmatrix} h_{1,1} - c_{1,1}^{(P)}T_1 & h_{2,1} \\ h_{1,2} - c_{1,2}^{(P)}T_2 & h_{2,2} \end{bmatrix}$; $c_\Sigma = \begin{bmatrix} c_{1,1} + c_{1,1}^{(P)} & c_{2,1} \\ c_{1,2} + c_{1,2}^{(P)} & c_{2,2} \end{bmatrix}$.

При $T_1 = T_2 = 0$ области устойчивости проанализированы [1]. Выясним изменения областей за счет параметров T_1 и T_2. Характеристический полином системы в этом случае можно представить в виде

$$\Delta(p) = \left(mp^2 + h_{1,1}p + c_{1,1} + c_{1,1}^{(P)}\right)\left(mp^2 + h_{2,2}p + c_{2,2}\right) - \left(h_{1,2}p + c_{1,2} + c_{1,2}^{(P)}\right)\left(h_{2,1}p + c_{2,1}\right) - \\ -\left[T_1 c_{1,1}^{(P)} p\left(mp^2 + h_{2,2}p + c_{2,2}\right) + T_2 c_{1,2}^{(P)} p\left(h_{2,1}p + c_{2,1}\right)\right]. \quad (10)$$

Тогда в плоскости двух варьируемых параметров T_1 и T_2 уравнение фигуративной линии будет иметь вид

$$\begin{cases} \left(-c_{1,1}^{(P)}h_{2,2}\omega^2\right)T_1 + \left(-c_{1,2}^{(P)}h_{2,1}\omega^2\right)T_2 = \\ = m^2\omega^4 - \left[m\left(c_{1,1}^{(P)} + c_{1,1} + c_{2,2}\right) + h_{1,1}h_{2,2} - h_{1,2}^2\right]\omega^2 + \left(c_{1,1} + c_{1,1}^{(P)}\right)c_{2,2} - \left(c_{1,2} + c_{1,2}^{(P)}\right)c_{2,1}, \\ \left(c_{1,1}^{(P)}c_{2,2}\omega - c_{1,1}^{(P)}m\omega^3\right)T_1 + \left(c_{1,2}^{(P)}c_{2,1}\omega\right)T_2 = \\ = \omega\left[h_{2,2}\left(c_{1,1} + c_{1,1}^{(P)}\right) + h_{1,1}c_{2,2} - 2h_{2,1}c_{1,2} - h_{2,1}c_{1,2}^{(P)}\right] - m\left(h_{1,1} + h_{2,2}\right)\omega^3. \end{cases} \quad (11)$$

Рассмотрим примеры преобразования областей устойчивости при изменении параметров T_1 и T_2 (рис. 2) для системы, параметры подсистемы инструмента которой приведены в таблице. Диаграммы соответствуют устойчивой системе при $T_1 = T_2 = 0$ и $c_{2,1}^{(P)} = c_{2,2}^{(P)} = 0$. Однако в зависимости от параметров T_1 и T_2 система может потерять устойчивость.

Параметры исходной системы без резания

$m, кГ \cdot c^2 / мм$	$h, кГ \cdot c / мм$	$c, кГ / мм$
$\begin{bmatrix} 10^{-3} & 0 \\ 0 & 10^{-3} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,1 & 0,14 \\ 0,14 & 0,4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2000 & -800 \\ -800 & 1000 \end{bmatrix}$

Фигуративная линия представляет собой петлеобразную кривую, принципиально разбивающую плоскость T_1 и T_2 на три области. Устойчивая область обозначена на рис. 2. Во всех остальных областях система неустойчива, причем в области петли характеристический полином системы имеет на четыре корня с положительной вещественной частью больше, чем в области устойчивости, в остальной части – на два корня. Таким образом, потеря устойчивости системы имеет колебательный характер.

Когда в подсистеме инструмента деформационным смещениям в направлении X_2 дополнительно соответствуют изгибные деформации инструмента, в матрице динамической жесткости процесса резания значимыми являются коэффициенты второго столбца, т. е. $c_{2,1}^{(P)}$ и $c_{2,2}^{(P)}$, а по мере изменения этих коэффициентов наблюдается сужение области устойчивости (рис. 2). Направление изменения фигуративных линий показано стрелками. В данном случае учитывается, что постоянные времени, определяющие запаздывание сил по отношению к деформационным смеще-

ниям инструмента относительно заготовки, для составляющих сил F_1 и F_2 различны. Если полагать, как это предложено в работе [8], что $T_1 = T_2 = T$, то предельные значения T определяются по прямой (на рис. 2 пунктирная линия).

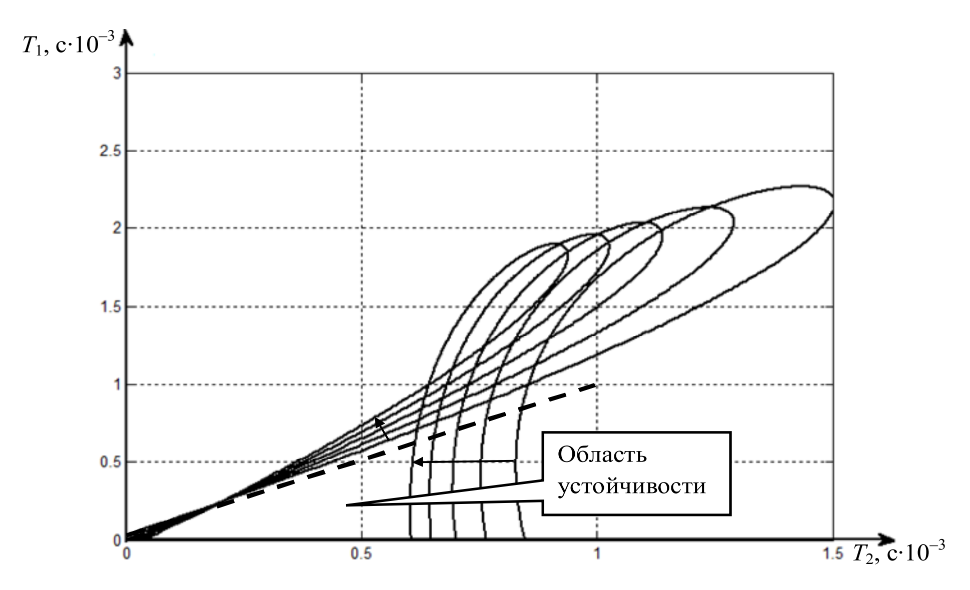


Рис. 2. Область устойчивости в плоскости T_1, T_2
при значениях $c^p_{2,1}$ = [0, -100, -200, -300, -400], кг/мм;
$c^p_{2,2}$ =[0, -20, -40, -60, -80], кг/мм; $c^p_{1,2}$ =1000, кг/мм; $c^p_{1,2}$ =500, кг/мм

На области устойчивости в плоскости параметров T_1 и T_2 оказывают влияние и коэффициенты первого столбца матрицы динамической жесткости процесса резания. В связи с этим рассмотрим также преобразование областей устойчивости по мере изменения коэффициентов $c^{(P)}_{1,1}$ и $c^{(P)}_{1,2}$ для случая, когда изгибные деформационные смещения инструмента отсутствуют (рис. 3). Точечными прямыми показаны направления изменения параметров T_1 и T_2, имеющие постоянное соотношение между собой, $T_1 = kT_2, k = 1, 2, 3$ (рис. 3). В динамических системах резания всегда выполняется условие $k \geq 1$. Очевидно, что при неизменных значениях T_2 по мере увеличения T_1 тенденция системы к потере устойчивости возрастает. Так как по мере увеличения T_2 возрастает асимметрия матриц скоростных коэффициентов, следовательно возрастают и кососимметричные составляющие этой матрицы, формирующие, как известно, гироскопические силы. Увеличение гироскопических сил не должно вызывать потерю устойчивости системы. Однако в динамических системах резания увеличение T_2 происходит при одновременном возрастании T_1, но T_1 увеличивается быстрее. Возрастание T_1 приводит к тому, что после критического значения этого параметра симметричная часть матрицы скоростных коэффициентов может стать отрицательно определенной, что вызывает потерю устойчивости равновесия системы. К этому же эффекту приводит и увеличение так называемого отрицательного коэффициента трения при рассмотрении кинетической характеристики процесса. Кроме этого, вариации матриц скоростных коэффициентов связаны с вариациями матриц динамической жесткости процесса резания. Известно, что кососимметричные составляющие матриц динамической жесткости процесса резания также влияют на устойчивость системы.

Анализ показывает, что матрицы скоростных коэффициентов, формируемые линеаризованной динамической характеристикой процесса резания, оказывают сложное влияние на устой-

чивость равновесия системы. Однако общая тенденция такова: по мере увеличения запаздывающих аргументов в динамической системе резания возрастает склонность к потере устойчивости равновесия. Подчеркнем, что падающая характеристика зависимости сил резания по мере увеличения скорости принципиально вызывает эффекты, аналогичные уже рассмотренным.

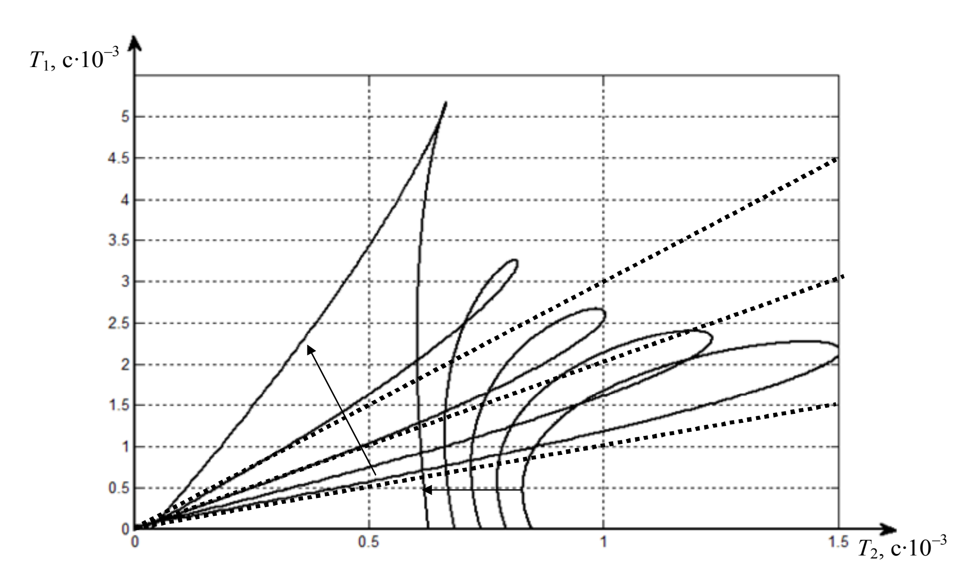


Рис. 3. Области устойчивости в плоскости T_1, T_2 при значениях $c^P_{2,1}$ = 0 кг/мм, $c^P_{2,2}$ = 0 кг/мм, $c^P_{1,2}$ = 1000 кг/мм, $c^P_{1,1}$ = [500, 400, 300, 200, 100] кг/мм. Уменьшению $c^P_{1,1}$ соответствует преобразование областей по направлению стрелки

Анализ областей устойчивости в плоскости варьируемых параметров технологических режимов обработки. Для практических приложений важно определить области устойчивости не в параметрическом пространстве линеаризованной динамической характеристики процесса резания, а в пространстве технологических режимов. В данном случае имеют значение два параметра: глубина резания t_P и скорость V_P. В традиционной схеме отработки принято, что величина подачи на порядок меньше, чем глубина, а варьирование подачи практически не влияет на устойчивость процесса. Можно представить параметры матриц скоростных коэффициентов и динамической жесткости процесса резания в технологических режимах [1 – 3]

$$\begin{cases} c_{1,1}^{(P)} = \rho_1 b = \rho_1 \dfrac{t_p}{\sin(\phi)};\, c_{1,2}^{(P)} = \rho_2 b = \rho_2 \dfrac{t_p}{\sin(\phi)}, \\ h_{1,1}^{(P)} = -\dfrac{l_1}{V_P}\rho_1 \dfrac{t_p}{\sin(\phi)};\, h_{2,1}^{(P)} = -\dfrac{l_2}{V_P}\rho_1 \dfrac{t_p}{\sin(\phi)}, \end{cases} \tag{12}$$

где ρ_1, ρ_2 – коэффициенты, характеризующие давление стружки на переднюю поверхность, спроектированное на направления X_1 и X_2, кг/мм^2; l_1 и l_2 – путь резания, необходимый для установления нового стационарного состояния системы резания при изменении деформационного смещения X_1; φ – главный угол режущего инструмента в плане.

Определим характеристический полином системы

$$\Delta(p) = \begin{bmatrix} m_{1,1}p^2 + \left(h_{1,1} - \dfrac{l_1}{v}\rho_1 \dfrac{t_p}{\sin\phi}\right)p + c_{1,1} + \rho_1 \dfrac{t_p}{\sin\phi} & h_{2,1}p + c_{2,1} \\ \left(h_{1,2} - \dfrac{l_2}{v}\rho_2 \dfrac{t_p}{\sin\phi}\right)p + c_{1,2} + \rho_2 \dfrac{t_p}{\sin\phi} & m_{2,2}p^2 + h_{2,2}p + c_{2,2} \end{bmatrix}. \tag{13}$$

Перейдя в частотную область после замены $p = j\omega$ (13), получим систему для вычисления фигуративной линии в плоскости $t_P - V_P$

$$\begin{cases} A(\omega) + \dfrac{t_p}{V_p} a_1(\omega) + t_p a_2(\omega) = 0, \\ B(\omega) + \dfrac{t_p}{V_p} b_1(\omega) + t_p b_2(\omega) = 0, \end{cases} \tag{14}$$

где $A(\omega) = m_{1,1}m_{2,2}\omega^4 - (c_{1,1}m_{2,2} + h_{1,1}h_{2,2} + m_{1,1}c_{2,2} - h_{1,2}h_{2,1})\omega^2 + c_{1,1}c_{2,2} - c_{1,2}c_{2,1}$;

$$a_1(\omega) = (l_1\rho_1 h_{2,2} - l_2\rho_2 h_{2,1})\frac{\omega^2}{\sin\phi};\ a_2(\omega) = (\rho_1 c_{2,2} - \rho_2 c_{2,1} - \rho_1 m_{2,2}\omega^2)\frac{1}{\sin\phi};$$

$$B(\omega) = -(h_{1,1}m_{2,2} + m_{1,1}h_{2,2})\omega^3 + (c_{1,1}h_{2,2} + h_{1,1}c_{2,2} - c_{1,2}h_{2,1} - h_{1,2}c_{2,1})\omega;$$

$$b_1(\omega) = (l_1\rho_1 m_{2,2}\omega^2 - l_1\rho_1 c_{2,2} + l_2\rho_2 c_{2,1})\frac{\omega}{\sin\phi};\ \ b_2(\omega) = (\rho_1 h_{2,2} - \rho_2 h_{2,1})\frac{\omega}{\sin\phi}.$$

Приведем пример (рис. 4) границы областей устойчивости для системы, параметры которой приведены в таблице, а параметры, связывающие технологические режимы с динамическими параметрами связи, формируемой процессом резания, соответствуют $\rho_1 = 100$ кг/мм^2; $\rho_2 = 200$ кг/мм^2; $l_1 = 0,9 \cdot 10^{-3}$ мм; $l_2 = 2 \cdot 10^{-3}$ мм.

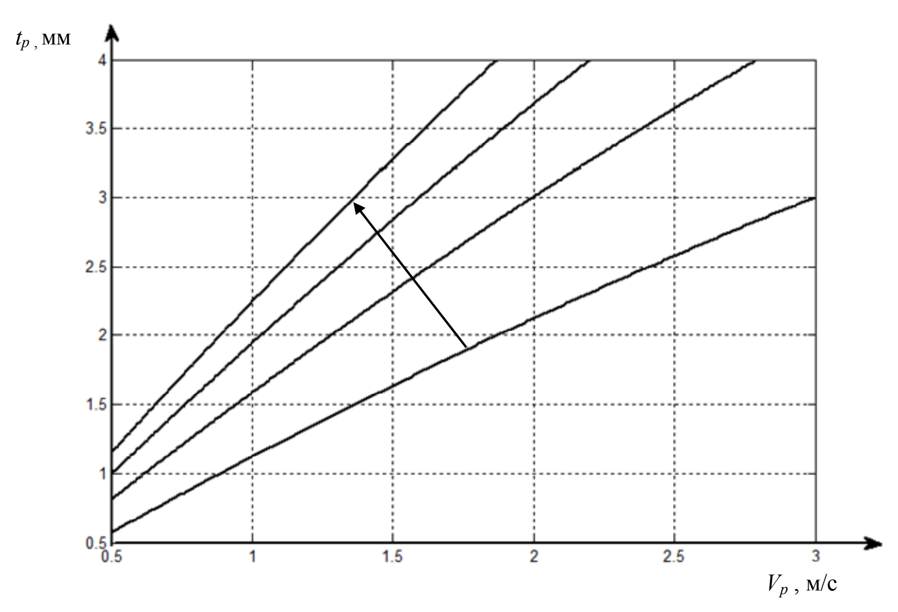


Рис. 4. Изменение области устойчивости в плоскости технологических параметров при изменении угла φ = {30°, 45°, 60°, 90°}.
Увеличению угла φ соответствует преобразование фигуративных линий по стрелке

Получена достаточно простая зависимость, соответствующая практическому опыту экспериментального анализа устойчивости процесса резания. Во-первых, для каждой скорости резания и геометрии инструмента существует предельное значение припуска, при котором система устойчива. Во-вторых, по мере увеличения скорости резания возрастает предельное значение величины припуска. В-третьих, с уменьшением угла φ, влияющего на ширину срезаемого слоя, предельное значение глубины резания уменьшается. Кроме этого, на границы области устойчивости оказывают влияние все геометрические параметры инструмента, от которых зависит ориентация сил резания в пространстве.

Заключение. Матрицы скоростных коэффициентов динамической связи, формируемой процессом резания, имеют элементы, которые, с одной стороны, обусловливаются запаздывающими аргументами, моделирующими запаздывание сил резания при изменении упругих деформационных смещений инструмента относительно заготовки, с другой – падающей характеристикой зависимости сил от скорости резания. Эти два фактора определяют матрицы скоростных коэффициентов динамической связи, формируемой процессом резания, для малых вариаций упругих деформационных смещений относительно точки равновесия. Эти матрицы не являются симметричными. Поэтому в вариациях относительно точки равновесия суммарная матрица скоростных коэффициентов представляется в виде симметричной и кососимметричной составляющих. Последние определяют формируемые естественным образом гироскопические силы. Однако на потерю устойчивости главное влияние оказывает вид симметричной составляющей матрицы скоростных коэффициентов, которая должна быть положительно определенной. Это необходимое условие устойчивости, которое является достаточным, если матрица упругости является симметричной и положительно определенной.

Выполненные исследования позволили в параметрическом пространстве системы резания определить области устойчивости. Эти области рассмотрены и в пространстве технологических режимов, что имеет большое значение для проектирования технологических процессов обработки материалов резанием.

Библиографический список

1. Синергетический системный синтез управляемой динамики металлорежущих станков с учетом эволюции связей / В.Л. Заковоротный [и др.]. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 324 с.

2. Заковоротный В.Л. Моделирование деформационных смещений инструмента относительно заготовки при точении / В.Л. Заковоротный, Д.Т. Фам, С.Т. Нгуен // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 10. – № 7. – С. 1005–1015.

3. Заковоротный В.Л. Моделирование и идентификация инерционных и диссипативных свойств подсистем режущего инструмента и заготовки при точении / В.Л. Заковоротный, Д.Т. Фам, С.Т. Нгуен // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 10. – № 8. – С. 1165–1178.

4. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики / Н.Н. Бухгольц. – М.: Наука, 1972. – Ч. II. – 386 с.

5. Мурашкин Л.С. Прикладная нелинейная механика станков / Л.С. Мурашкин, С.Л. Мурашкин. – Л.: Машиностроение, 1971. – 192 с.

6. Васильков Д.В. Динамика технологической системы механической обработки / Д.В. Васильков, В.Л. Вейц, В.С. Шевченко. – СПб.: ТОО «Инвентекс», 1997. – 230 с.

7. Вейц В.Л. Динамика технологических систем / В.Л. Вейц, Д.В. Васильков, Ю.М. Зубарев. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ин-та машиностроения, 2002. – 256 с.

8. Кудинов В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.

9. Соколовский А.П. Научные основы технологии машиностроения / А.П. Соколовский. – М.: Машгиз, 1955. – 514 с.

10. Физические основы процесса резания металлов / под ред. В.А. Остафьева. – Киев: Вища школа, 1976. – 136 с.

11. Расчет пространственных автоколебаний при резании металлов / Т.В. Путята [и др.] // Вестн. машиностроения. – 1975. – Вып. 12.

Материал поступил в редакцию 24.06.11.

References

1. Sinergeticheskij sistemny`j sintez upravlyaemoj dinamiki metallorezhushhix stankov s uchyotom e`volyucii svyazej / V.L. Zakovorotny`j [i dr.]. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2008. – 324 s. – In Russian.
2. Zakovorotny`j V.L. Modelirovanie deformacionny`x smeshhenij instrumenta otnositel`no zagotovki pri tochenii / V.L. Zakovorotny`j, D.T. Fam, S.T. Nguen // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2010. – T. 10. – # 7. – S. 1005–1015. – In Russian.
3. Zakovorotny`j V.L. Modelirovanie i identifikaciya inercionny`x i dissipativny`x svojstv podsistem rezhushhego instrumenta i zagotovki pri tochenii / V.L. Zakovorotny`j, D.T. Fam, S.T. Nguen // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2010. – T. 10. – # 8. – S. 1165–1178. – In Russian.
4. Buxgol`cz N.N. Osnovnoj kurs teoreticheskoj mexaniki / N.N. Buxgol`cz. – M.: Nauka, 1972. – Ch. II. – 386 s. – In Russian.
5. Murashkin L.S. Prikladnaya nelinejnaya mexanika stankov / L.S. Murashkin, S.L. Murashkin. – L.: Mashinostroenie, 1971. – 192 s. – In Russian.
6. Vasil`kov D.V. Dinamika texnologicheskoj sistemy` mexanicheskoj obrabotki / D.V. Vasil`kov, V.L. Vejcz, V.S. Shevchenko. – SPb.: TOO «Inventeks», 1997. – 230 s. – In Russian.
7. Vejcz V.L. Dinamika texnologicheskix sistem / V.L. Vejcz, D.V. Vasil`kov, Yu.M. Zubarev. – SPb.: Izd-vo S.-Peterb. in-ta mashinostroeniya, 2002. – 256 s. – In Russian.
8. Kudinov V.A. Dinamika stankov / V.A. Kudinov. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 360 s. – In Russian.
9. Sokolovskij A.P. Nauchny`e osnovy` texnologii mashinostroeniya / A.P. Sokolovskij. – M.: Mashgiz, 1955. – 514 s. – In Russian.
10. Fizicheskie osnovy` processa rezaniya metallov / pod red. V.A. Ostaf`eva. – Kiev: Vy`shha shkola, 1976. – 136 s. – In Russian.
11. Raschyot prostranstvenny`x avtokolebanij pri rezanii metallov / T.V. Putyata [i dr.] // Vestn. mashinostroeniya. – 1975. – Vy`p. 12. – In Russian.

HIGH-SPEED COUPLING EFFECT ON STATIC STABILITY OF DYNAMIC CUTTING SYSTEM

V.L. ZAKOVOROTNIY, PHAM DINH TUNG, NGUYEN XUAN CHIEM
(Don State Technical University)

The problem of buckling failure of the dynamic cutting system is considered. The retarded argument effect formed in the tool-to-workpiece cutting force dependencies on the elastic deformational displacement is mainly focused. Some buckling mechanisms are revealed. The stability zones within the variable parameters that characterize the retarded arguments are analyzed.
Keywords: *cutting operation, stability, high-speed coupling.*

УДК 512.667.7+512.554.32

О КЛАССИФИКАЦИИ НЕПРИВОДИМЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ЯНГИАНА СУПЕРАЛГЕБРЫ ЛИ *SL* (1, 2)*

В.А. СТУКОПИН
(Донской государственный технический университет)

Получена классификация неприводимых конечномерных представлений янгиана супералгебры Ли sl(1,2) – супералгебры Хопфа, имеющей многочисленные применения в современной теоретической и математической физике. Предложены возможные приложения полученного результата в математической физике.
Ключевые слова: *янгиан, супералгебра Ли, неприводимое представление, модуль, супералгебра Хопфа.*

Введение. Описание неприводимых представлений янгианов является важной задачей для теории точно решаемых моделей статистической механики и квантовой теории поля. С точки зрения теории янгианов конструкция трансфер-матрицы основана на нахождении образа универсальной R-матрицы квантового дубля янгиана [1] при действии тензорного произведения неприводимого представления и тождественного отображения. Вычисление спектра гамильтониана и корреляционных функций также может быть проведено на основе теории представлений янгианов при использовании формулы для универсальной R-матрицы. Поэтому теория представлений янгианов простых и редуктивных алгебр Ли является хорошо изученной, которая начала развиваться еще до появления самого термина – янгиан. В противоположность этому теория янгианов супералгебр Ли является относительно молодой дисциплиной, первые результаты в которой были получены во второй половине 90-х годов. К настоящему времени число приложений теории янгианов супералгебр Ли значительно выросло, в частности, прояснилась связь с квантовой теорией суперструн и теорией калибровочных полей Янга – Миллса, играющих важнейшую роль в современной фундаментальной физике [2, 3].

В работе исследуются представления янгианов супералгебр Ли типа $sl(1,2)$ [4], основной результат – теорема о классификации конечномерных неприводимых представлений янгиана базисной супералгебры Ли типа $sl(n,m)$. Рассматривается простейший случай супералгебры Ли $sl(1,2)$ наиболее близкой по свойствам к простой алгебре Ли типа $sl(2)$, который позволяет продемонстрировать все существенные черты развиваемой теории.

Были использованы следующие стандартные обозначения: C – поле комплексных чисел, N – множество натуральных чисел, Z_+ – множество неотрицательных целых чисел.

Формулировка основного результата. Пусть $g = sl(1,2) = A(0,1)$ – базисная супералгебра Ли, определяемая следующей матрицей Картана $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}$ [4]. Янгиан $Y(g) = Y(sl(1,2))$ [5, 7] – ассоциативная супералгебра над кольцом формальных степенных рядов $C[[\hbar]]$, порожденная образующими $x^{\pm}_{i,r}, h_{j,k}, i,j \in I = \{1,2\}, r,k \in Z_+$, степени которых определяются формулами: $\deg(x^{\pm}_{2,s}) = \deg(h_{1,s}) = \deg(h_{2,s}) = 0, \deg(x^{\pm}_{1,s}) = 1, s \in Z_+$, удовлетворяющие следующей системе определяющих соотношений [7, определение 2]:

---

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 09-01-00671-а), а также федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» в рамках мероприятия 1.2.2 (госконтракт П1116).

$$[h_{i,k}, h_{j,l}] = 0, i, j = 1,2; k \in Z_+;$$

$$[x^+_{i,k}, x^-_{j,l}] = \delta_{i,j} h_{i,k+l}, i, j \in I = \{1,2\}, k, l \in Z_+; \ [h_{i,0}, x^\pm_{j,k}] = \pm a_{ij} x^\pm_{j,k}, i, j = 1,2; k \in Z_+;$$

$$[x^\pm_{i,k+1}, x^\pm_{j,l}] = [x^\pm_{i,k}, x^\pm_{j,l+1}] \pm \frac{a_{ij}}{2}\{h_{i,k}, x^\pm_{j,l}\}, i, j = 1,2; k, l \in Z_+;$$

$$[x^\pm_{i,k}, [x^\pm_{i,l} x^\pm_{j,r}]] + [x^\pm_{i,l}, [x^\pm_{i,k} x^\pm_{j,r}]] = 0, i, j = 1,2; k, l, r \in Z_+.$$

Здесь a_{ij} – элементы матрицы Картана $A = (a_{ij})^2_{i,j=1} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}$; $[a,b] = ab - (-1)^{\deg(a)\cdot\deg(b)} ba$ обозначает коммутатор, $\{a,b\} = ab + (-1)^{\deg(a)\cdot\deg(b)} ba$ – антикоммутатор элементов a, b. Отметим, что элементы янгиана степени 0 называются четными, а степени 1 – нечетными.

Замечание 1. Заметим, что $Y(g)$ является на самом деле супералгеброй Хопфа [7], но для формулировки основного результата структура коумножения не требуется, поэтому ее описание структуры опускается.

Пусть V – модуль над янгианом $Y(g)$ супералгебры Ли $g = sl(1,2)$, $\bar{d} = \{d_{i,r}\}; i \in I, r \in Z_+$ – набор комплексных чисел. Будем обозначать через $V_{\bar{d}}$ и называть весовым подпространством модуля V подпространство $V_{\bar{d}} = \{v \in V : h_{i,r} v = d_{i,r} v\}$, при этом $\bar{d} = \{d_{i,r}\}$ – вес янгианного модуля. Необходимо описать структуру конечномерных модулей над янгианом $Y(g)$, а также сформулировать необходимые и достаточные условия того, что неприводимый модуль является конечномерным.

Вектор $v \in V$ называется примитивным, если $v \in V_{\bar{d}}$ и $x^\pm_{i,r} v = 0$ для всех $i \in I, r \in Z_+$, а модуль V модулем со старшим весом, если он порождается примитивным вектором, т. е. $V = Y(g)v$ для некоторого примитивного вектора $v \in V_{\bar{d}}(\bar{d})$. Модуль V со старшим весом $\bar{d}$ будем также обозначать через $V = V(\bar{d})$.

Главный результат работы – теорема о классификации неприводимых конечномерных янгианных модулей.

Теорема. 1) Каждый неприводимый конечномерный $Y(A(0,1))$-модуль V является модулем со старшим весом $\bar{d}$, т. е. $V = V(\bar{d})$.

2) Модуль $V(\bar{d})$ конечномерен тогда и только тогда, когда существуют многочлен P_2^d, а также многочлены P_1^d, Q_1^d, удовлетворяющие следующим условиям: все многочлены со старшими коэффициентами, равны 1;

$$\frac{P_2^d(u+1)}{P_2^d(u)} = 1 + \sum_{k=0}^{\infty} d_{2,k} u^{-k-1}, \qquad (1)$$

$$\frac{P_1^d(u)}{Q_1^d(u)} = 1 + \sum_{k=0}^{\infty} d_{1,k} u^{-k-1}. \qquad (2)$$

Доказательство основного результата. Приведем схему доказательства теоремы 1, дающей классификацию неприводимых конечномерных представлений янгиана $Y(sl(1,2))$. Обозначим через $\bar{B}_{1,n}, \bar{B}_{2,n}$ линейные оболочки следующих векторов:

$$\bar{B}_{1,n} = \langle x^-_{1,k_1} x^-_{1,k_2} ... x^-_{1,k_r} v_+ \mid k_1 + 1 + ... + k_r + 1 \le n \rangle, \qquad (3)$$

$$\bar{B}_{2,n} = \langle (x^-_{1,k_1})^{t_1} (x^-_{1,k_2})^{t_2} ... (x^-_{1,k_r})^{t_r} v_+ \mid t_1(k_1+1) + ... + t_r(k_r+1) \le n \rangle. \qquad (4)$$

Лемма 1. Если $\bar{B}_{1,n} = \bar{B}_{1,n+1}$, то $\bar{B}_{1,n} = \bar{B}_{1,n+\kappa}$ для произвольного натурального числа $k \in N$.

Доказательство. Пусть $a \in \bar{B}_{1,n}$. Покажем сначала, что любой вектор из $\bar{B}_{1,n+k}$ можно представить как образ $\bar{B}_{1,n}$ при действии картановской подалгебры $\mathrm{H} = \{h_{1,k}, h_{2,k} \mid k \in Z_+\}$, именно $\bar{B}_{1,n+k} \subset \mathrm{H}\bar{B}_{1,n+k}$. При k = 1 этот факт вытекает из условия леммы. Пусть теперь k = 2. Потребуется следующее соотношение:

$$h_{i,1}x^-_{j,n}v_+ = x^-_{j,n}h_{i,1}v_+ + [h_{i,1}, x^-_{j,n}]v_+ = x^-_{j,n}h_{i,1}v_+ + [h_{i,0}, x^-_{j,n+1}]v_+ +$$
$$+(a_{ij}/2)(h_{i,0}x^-_{j,n} + x^-_{j,n}h_{i,0})v_+ = d_{i,1}x^-_{j,n}v_+ + a_{ij}x^-_{j,n+1}v_+ + (a_{ij}/2)(h_{i,0}x^-_{j,n} + x^-_{j,n}h_{i,0})v_+ =$$
$$= a_{ij}x^-_{j,n+1}v_+ + (d_{i,1} + a_{ij}/2)(2d_{i,0} + a_{ij})x^-_{j,n}v_+ .$$

Используя это соотношение, докажем лемму.

Пусть $a \in \bar{B}_{1,n+2}$, тогда $a = \sum_{s=1}^{r} x^-_{i_s,k_s} b_s v_+$. Представим элемент a в виде

$$a = \sum_{s=1}^{r} a^{-1}_{i_s-1,i_s}[h_{i_s-1,1}, x^-_{i_s,k_s-1}]b_s v_+ . \quad (5)$$

Используя несколько раз приведенные выше два коммутационных соотношения, можно представить элемент a в виде суммы элементов из $\bar{B}_{1,n+1}$ и произведения $x^-_{i_s,1}$ и элемента из $\bar{B}_{1,n+1}$. Так как каждый элемент из $\bar{B}_{1,n+1}$ содержится в $\bar{B}_{1,n}$, то последовательно получаем, что $a \in \bar{B}_{1,n+1}$ и, следовательно, в силу условия леммы $a \in \bar{B}_{1,n}$. Лемма доказана.

Пусть теперь $x^-(n) = x^-_{1,k_1}...x^-_{1,k_r}, k_1 + k_2 + ... + k_r = n, k_r < k_{r-1} < ... < k_1$.

Лемма 2. Если вектор $x^-(n+1) \in \bar{B}_{1,n}$, то и вектор $x^-(n+k+1) \in \bar{B}_{1,n}$ для произвольного числа $k \in Z_+$.

Следует отметить, что леммы 1 и 2 эквивалентны. Формулировка второй леммы бывает иногда удобнее для применения.

Докажем теперь теорему. П.1 теоремы доказывается относительно стандартными для теории представлений рассуждениями. Поэтому несколько подробнее остановимся на схеме доказательства п.2, которое в большей степени использует особенности структуры янгиана. Покажем, достаточно схематично, как утверждение теоремы выводится из сформулированных выше лемм. Введем производящую функцию образующих:

$$x^-_i = \sum_{s=1}^{\infty} x^-_{i,s}u^{-s-1}, i = 1,2 .$$

Из доказанных лемм вытекает, что $x^-_i(u)v_+ = \sum_{m=0}^{N} \beta^i_m(u)v_{i,m}$, где векторы $\{v_{i,m}\}$ образуют базис в $\bar{B}_{i,n}, i = 1,2$. Фактически может быть получен явный вид для функций $\beta^i_m(u)$. Будем использовать $\beta_m(u)$ вместо $\beta^1_m(u)$. Здесь следует отметить, что вид $\beta^2_m(u)$, по существу, известен, как и все результаты, относящиеся к четным образующим. Они вытекают из описания неприводимых представлений янгиана алгебры Ли $sl(2)$. Поэтому остановимся только на доказательстве результатов, относящихся к нечетной части янгиана $Y(sl(1,2))$. Потребуется часть определяющих соотношений в янгиане в специальной форме:

$$[h_2(u), x^-_1(t)] = \frac{h_2(u)(x^-_1(t) - x^-_1(u)) + (x^-_1(t) - x^-_1(u))h_2(u)}{u - t}; \quad (6)$$

$$[h_2(u), x^-_1(t)] = 0 . \quad (7)$$

Пусть $v_{1,k} = x_{1,k}^{-} v_{+}$, тогда соотношение имеет вид

$$x_1^{-}(u) = \sum_{i=0}^{N} \beta_i(u) v_{1,i} \ . \qquad (8)$$

Отметим, что

$$x_1^{-}(u)v_{+} = \sum_{k=0}^{\infty} x_{1,k}^{-} u^{-k-1} v_{+} = \sum_{k=0}^{N} x_{1,k}^{-} u^{-k-1} v_{+} + \sum_{k=N+1}^{\infty} x_{1,k}^{-} u^{-k-1} v_{+} = \sum_{k=0}^{N} x_{1,k}^{-} u^{-k-1} v_{+} + \sum_{k=0}^{N} \sum_{i=0}^{\infty} \varphi_k^i u^{-i-1} v_{1,k} \ .$$

Обозначим $\varphi_k(u) = \sum_{i=0}^{\infty} \varphi_k^i u^{-i-1}$, и пусть $\tilde{\varphi}_k(u) = u^{-k-1} + \varphi_k(u)$, следовательно

$$\varphi_k^{i+1} - \varphi_{k-1}^{i} - \varphi_N^{i} \varphi_N^{0} = 0, \quad k \geq 0; \qquad (9)$$

$$\varphi_0^{i+1} - \varphi_N^{i} \varphi_0^{0} = d_{1,n+k+1} - \sum_{j=0}^{N} \varphi_j^{i} d_{1,j} \ . \qquad (10)$$

Доказываются соотношения (9), (10) по индукции, на основе системы определяющих соотношений в янгиане и соотношений (6) – (8). Подробные доказательства этих соотношений громоздки, они опускаются. Из полученных соотношений при помощи несложных преобразований и получаются доказываемые соотношения (2). Теорема доказана.

Замечание 2. Многочлены, участвующие в формулировке теоремы, можно рассматривать как аналоги старших весов представления супералгебры Ли. Таким образом, теорема является аналогом для янгианов результата, полученного В. Г. Кацем [8], дающего классификацию неприводимых представлений базисной супералгебры Ли в терминах старших весов. При этом степень многочлена является аналогом целочисленности веса. В нашем случае нечетному корню соответствует пара многочленов, что согласуется с результатом В. Г. Каца, что вес, соответствующий нечетному корню, не обязан быть целочисленным [8].

Замечание 3. В работах [5], [6] получены мультипликативные формулы для универсальных R-матриц янгиана и его квантового дубля в случае супералгебры Ли типа $sl(m,n)$. Комбинируя этот результат с результатом теоремы, можно получить явные формулы для квантовых R-матриц и L операторов в анзаце Бете, что весьма важно для исследования струнных теорий в рамках AdS гипотезы [2]. Изложению этих результатов будет посвящена отдельная работа.

Выводы. Получена классификация неприводимых представлений янгиана супералгебры Ли $sl(1,2)$. Этот результат, по существу, является простейшим в ряду классификационных теорем, описывающих простые модули над янгианами базисных супералгебр Ли. Обобщения результата, потребуют значительно больших технических усилий и должны опираться на пока еще не доказанную общую теорему Пуанкаре – Биркгофа – Витта для янгианов базисных супералгебр Ли. Значение этого результата заключается в том, что в случае когда диаграмма Дынкина базисной супералгебры Ли содержит «серые» корни, на него можно будет опираться при доказательстве теоремы о классификации неприводимых представлений.

Библиографический список

1. Drinfeld V. Quantum groups / V. Drinfeld // Proc. Int. Cong. Math. – V. 1. – Berkley, 1988. – P. 789–820.

2. Dolan L. Yangian Symmetry in D = 4 Superconformal Yang–Mills theory / L. Dolan, Ch. Nappi, E. Witten // arXiv: hep-th/0401243, 2004.

3. Spill F. On Drinfeld's second realization of the AdS/CFT *su*(2, 2) Yangian / F. Spill, A. Torrielli // arXiv: hep-th/0803.3194, 2008.

4. Frappat L. Dictionary on Lie Superalgebras / L. Frappat, P. Sorba. – London: Academic Press, 2000.

5. Стукопин В.А. О дубле янгиана супералгебры Ли типа *A* (*m*, *n*) / В.А. Стукопин // Функцион. анализ и его приложение. – 2006. – Т. 40. – № 2. – С. 81–84.

6. Стукопин В.А. Квантовый дубль янгиана суперaлгебры Ли типа $A\,(m,\,n)$ и вычисление универсальной R-матрицы / В.А. Стукопин // Фундамент. и прикладная математика. – 2005. – Т. 11. – № 2. – С. 185–208.

7. Стукопин В.А. О янгианах суперaлгебр Ли типа $A\,(m,\,n)$ / В.А. Стукопин // Функцион. анализ и его приложение. – 1994. – Т. 28. – № 3. – С. 85–88.

8. Kac V. A Sketch of Lie Superalgebra Theory / V. Kac // Commun. Math. Phys. – 1977. – 53. – P. 31–64.

9. Тарасов В.О. О строении квантовых L операторов для R-матрицы XXZ модели / В.О. Тарасов // Теорет. и мат. физика. – 1984. – Т. 61. – № 2. – С. 163–173.

10. Тарасов В.О. Неприводимые матрицы монодромии для R-матрицы XXZ модели и решеточные квантовые локальные гамильтонианы / В.О. Тарасов // Теорет. и мат. физика. – 1985. – Т. 63. – № 2. – С. 175–196.

11. Zhang R.B. Representations of super Yangian / R.B. Zhang // J. Math. Phys. – 1995. – V. 36. – P. 3854–3865.

Материал поступил в редакцию 16.06.11.

References

1. Drinfeld V. Quantum groups / V. Drinfeld // Proc. Int. Cong. Math. – V. 1. – Berkley, 1988. – P. 789–820.

2. Dolan L. Yangian Symmetry in D = 4 Superconformal Yang–Mills theory / L. Dolan, Ch. Nappi, E. Witten // arXiv: hep-th/0401243, 2004.

3. Spill F. On Drinfeld's second realization of the AdS/CFT su(2, 2) Yangian / F. Spill, A. Torrielli // arXiv: hep-th/0803.3194, 2008.

4. Frappat L. Dictionary on Lie Superalgebras / L. Frappat, P. Sorba. – London: Academic Press, 2000.

5. Stukopin V.A. O duble yangiana superalgebry` Li tipa A (m, n) / V.A. Stukopin // Funkcion. analiz i ego prilozhenie. – 2006. – T. 40. – # 2. – C. 81–84. – In Russian.

6. Stukopin V.A. Kvantovy`j dubl` yangiana superalgebry` Li tipa A (m, n) i vy`chislenie universal`noj R-matricy` / V.A. Stukopin // Fundament. i prikladnaya matematika. – 2005. – T. 11. – # 2. – C. 185–208. – In Russian.

7. Stukopin V.A. O yangianax superalgebr Li tipa A (m, n) / V.A. Stukopin // Funkcion. analiz i ego prilozhenie. – 1994. – T. 28. – # 3. – S. 85–88. – In Russian.

8. Kac V. A Sketch of Lie Superalgebra Theory / V. Kac // Commun. Math. Phys. – 1977. – 53. – P. 31–64.

9. Tarasov V.O. O stroenii kvantovy`x L operatorov dlya R-matricy` XXZ modeli / V.O. Tarasov // Teoret. i mat. fizika. – 1984. – T. 61. – # 2. – S. 163–173. – In Russian.

10. Tarasov V.O. Neprivodimy`e matricy` monodromii dlya R-matricy` XXZ modeli i reshyotochny`e kvantovy`e lokal`ny`e gamil`toniany` / V.O. Tarasov // Teoret. i mat. fizika. – 1985. – T. 63. – # 2. – S. 175–196. – In Russian.

11. Zhang R.B. Representations of super Yangian / R.B. Zhang // J. Math. Phys. – 1995. – V. 36. – P. 3854–3865.

ON CLASSIFICATION OF YANGIAN IRREDUCIBLE REPRESENTATIONS OF LIE SUPERALGEBRA SL (1,2)

V.A. STUKOPIN
(Don State Technical University)

The classification of Yangian irreducible finite-dimensional representations of Lie superalgebra sl(1,2) – Hopf superalgebra is obtained. The classification is of great use in modern theoretical and mathematical physics. Some feasible applications of this result in mathematical physics are offered.

Keywords: *Yangian, Lie superalgebra, irreducible representation, module, Hopf superalgebra.*

УДК 519.115.1.519.15

СЕЛЕКТИВНО-ПЕРЕСТАНОВОЧНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАНИЙ МЕЖДУ ИСПОЛНИТЕЛЯМИ: ОДИНАРНЫЕ ПЕРЕСТАНОВКИ

Р.А. НЕЙДОРФ
(Донской государственный технический университет)

Предложен новый для классической теории расписаний подход к решению распределительных задач, который основывается на введении понятий распределительных матриц, критериев оценки их свойств и разработанного алгоритма их улучшающих преобразований. Сформулирован метод, получивший название «селективно-перестановочный», поскольку он базируется на выделении и перестановке перспективных элементов столбцов распределительных матриц, приводятся его примеры.
Ключевые слова: *теория расписаний, распределительная задача, критерий оптимизации, минимаксный критерий, селективный подход, перестановочный алгоритм, распределительная матрица, ресурсный столбец, одинарная перестановка.*

Введение. В фундаментальных работах по классической теории расписаний (КТР) [1–3] сформулирована основная парадигма этой теории, определены направления ее развития, дана классификация методов решения рассматриваемых в КТР задач и описаны основные алгоритмы их реализации.

Сформировано два основных направления развития КТР: решение параллельных распределительных задач (РЗ) в однородных и неоднородных распределительных системах. Статья ориентирована на методы решения однородных РЗ. Методы решения задач КТР делятся на две большие группы: точные и приближенные. Точные методы являются оптимизационными и обеспечивают нахождение экстремального решения РЗ по выбранному критерию оптимизации. Приближенные методы обеспечивают некоторое просто приемлемое или допустимое решение, не являющееся в общем случае оптимальным и не ориентированное на экстремальную оценку.

Общим признаком всех этих методов является работа с произвольным или структурированным списком заданий, которые последовательно по определенным алгоритмическим правилам назначаются (или не назначаются) какому-либо исполнителю используемой исполнительной системы (ИС). Решение РЗ – структура окончательного распределения заданий между исполнителями ИС – является всегда в этих методах последним этапом реализуемого алгоритма. В этой парадигме распределения кроется, по мнению автора, корень тех проблем, которые стоят как перед приближенными, так и перед точными методами. При неблагоприятном исходно заданном распределении заданий приближенные алгоритмы приводят к плохим по точности распределениям, а у точных алгоритмов резко возрастает время решения.

Цель статьи – теоретическое обоснование и алгоритмическая проработка принципиально новой парадигмы решения однородных РЗ КТР. Сущность ее состоит в том, что алгоритм распределения ориентирован на работу с уже имеющимся допустимым распределением, а направленностью его работы является улучшение этого распределения. В результате каждый промежуточный этап решения РЗ является вполне приемлемым вариантом. А конечный вариант распределения либо может рассматриваться как квазиоптимальное распределение относительно того критерия, по которому производилось улучшение, либо будет оптимальным по этому критерию. Основы описываемого здесь подхода заложены автором в нескольких работах прикладного характера [4, 5].

Математическая модель исследуемой задачи. Пусть к распределению в системе m идентичных параллельно работающих исполнителей, образующих множество $E = \{E_1, \ldots, E_m\}$, назначена произвольным образом полученная совокупность $W = \{w_1, \ldots, w_n\}$ заданий w_i. Сущность

решения РЗ состоит в том, что каждому заданию $w_i \in W, i = \overline{1,n}$ назначается исполнитель $E_j \in E$, $j = \overline{1, m}$.

Если распределительная задача не преследует каких-либо дополнительных целей, результатом распределения будет любое множество $D^W = \{W_1, \ldots, W_m\}$, подмножества заданий $W_j = \{w_k \mid w_k \in W, k \in [1, n]\}$ которого отвечают обязательному свойству, описываемому следующим отношением:

$$\forall j, k \in [1, m] \rightarrow \bigcup_{j=1}^{m} W_j = W; W_j \bigcap_{j \neq k} W_k = \varnothing . \quad (1)$$

Условие (1) определяет замкнутость решаемой РЗ по исходному множеству заданий – все задания должны быть распределены (но не все исполнители в используемой ИС могут быть заняты).

Если имеет значение и известен ресурс выполнения каждого *i*-го задания, обозначаемый r_i, то возникает возможность количественно оценить результаты решения распределительной задачи. В частности, предусмотренная некоторым вариантом D^w загрузка заданиями произвольного исполнителя E_j оценивается ресурсом R_j, определяемым аддитивным выражением

$$R_j = \sum r_k ; \; r_k : w_k \in W_j . \quad (2)$$

Если ресурс r_i выполнения w_i одинаков для любого *j*-го исполнителя E_j, то такая ИС называется однородной. Следовательно, в однородной РЗ *n*-множеству заданий *W* сопоставляется *n*-множество их оценок $R = \{r_1, \ldots, r_n\}$, определяемых взаимно однозначным отображением,

$$W \leftrightarrow R : w_i \leftrightarrow r_i . \quad (3)$$

Поскольку общие ресурсы исполнителей R_j образуют множества $R_j = \{r_k \mid r_k \in R\}$, взаимно соответственных с множествами W_j закрепленных за исполнителями E_j заданий, которые отвечают обязательному свойству замкнутости (1), R_j также отвечают свойству замкнутости

$$\forall j, k \in [1, m] \rightarrow \bigcup_{j=1}^{m} R_j = R : R_j \bigcap_{j \neq k} R_k = \varnothing . \quad (4)$$

Таким образом, каждому решению РЗ в виде конкретного варианта D^W сопоставляется оценочное множество $D^R = \{R_1, \ldots, R_m\}$. При этом качество распределения заданий по исполнителям оценивается ресурсом выполнения всего множества *W* и задается некоторым функционалом, дискретными аргументами которого являются ресурсы загрузки исполнителей R_j.

Когда ресурс выполнения всего исходного множества заданий на выбранной ИС имеет значение, для оценки решения РЗ D^W формируется функция или функционал $Q[D^R]$, качественно отражающие количественные требования к свойствам этого решения.

Например, максимальная по ресурсу загрузка одного из исполнителей

$$Q^m[D^R] = \max_R \{R_j \mid j = \overline{1, m}\} \quad (5)$$

представляет собой оценку ресурсоемкости решения и считается наиболее эффективной среди функционалов, а если в качестве ресурса выступает время, то (5) является оценкой производительности ИС.

Другой известной и полезной оценкой эффективности решения РЗ является выражение следующего вида:

$$Q^e[D^R] = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m}(R_j - \bar{R})^2}{m-1}}, \; \bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^{m} R_j}{m}, \quad (6)$$

которое представляет собой среднее квадратическое отклонение загрузок исполнителей от средней загрузки по ИС и является оценкой равномерности загрузки исполнителей ИС.

Известны и другие оценки [2, 8]. Но просто формировать и затем оценивать произвольный вариант нецелесообразно, так как теоретически показано [1], что количество N возможных вариантов загрузки ИС очень велико, хотя и конечно. Поэтому произвольно выбрать наилучший или хотя бы достаточно хороший вариант маловероятно. В связи с этим возникает задача направленного выбора эффективного решения РЗ.

Наилучшим способом конкретизации и обеспечения эффективности решения является оптимизационный подход. Например, от оценки (5) целесообразно потребовать, чтобы она приняла в окончательном решении минимальное значение. Это порождает так называемый «минимаксный» критерий (ММК) оптимизации решения РЗ

$$Q^{mm}\left[D^r\right] = \min_R \max_j \left\{R_j \mid j = \overline{1,m}\right\}. \quad (7)$$

Аналогично минимизация оценки (6) порождает критерий «равномерности загрузки» (КРЗ)

$$Q^{de}\left[D^r\right] = \min_R Q^e\left[D^r\right]. \quad (8)$$

Основная проблема исследуемой задачи. Трудность поставленной выше задачи состоит в том, что найти оптимальное решение не так просто, а главное, этот процесс, в общем случае, очень трудо- и времяемкий. Это связано с тем, что количество вариантов распределения N зависит от размерности задачи РЗ, определяемой двумя параметрами: мощностью ИС m и мощностью множества распределяемых заданий n. Полное количество вариантов загрузки ИС задается формулой $N = m^n$, что и определяет NP-полноту алгоритма полного перебора вариантов решения, т. е. NP-полноту сформулированной РЗ [1].

Наиболее универсальным методом точного решения однородных РЗ является алгоритм Романовского (АР), описанный и исследованный во многих научных работах по теории расписаний (прежде всего, в первоисточнике [3]). Этот алгоритм является разновидностью метода «ветвей и границ», который хоть и не решает проблему NP-полноты, но, по сравнению с методом полного перебора, значительно снижает ресурс решения оптимизационных задач, в том числе и РЗ.

Во многих случаях АР дает хорошие ресурсные показатели и позволяет решать задачи высокой размерности. Так, например, приведенное в [5] решение с помощью АР 30 случайно сгенерированных РЗ с параметрами m = 19; n = 317; $\min r_i$ = 25; $\max r_i$ = 75 дает время решения одной распределительной задачи от 3 до 21 с, что вполне приемлемо для большинства приложений.

Однако нередки случаи, когда даже задача небольшой размерности оказывается неразрешимой за приемлемое время. Такое свойство АР обусловливается его структурой. Реализуя решение z-задачи, АР довольно быстро снижает верхнюю границу поиска достижимых решений. Но при неблагоприятном сочетании ресурсов распределяемых заданий, начиная с некоторого шага решения z-задачи, им осуществляется практически полный перебор вариантов распределения заданий между исполнителями для оставшейся части дерева решений. С этого момента АР работает практически как алгоритм полного перебора. Тогда, если оставшаяся часть дерева решений РЗ имеет достаточно высокую размерность, предсказать время решения такой задачи весьма трудно.

К примеру, случайно сгенерированные с помощью АР РЗ с параметрами n = 15, диапазоном ресурса $\min r_i$ = 30 и $\max r_i$ = 70 дают для различных m время решения одной распределительной задачи от менее 1 мс до более 2 мин. Данные эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

m		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Время решения	мин	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	с	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	1	0
	мс	0	0	0	5	0	0	1	0	0	933	78	0	662	2

Анализ табл. 1 показывает, что ресурс решения РЗ в среде АР не однозначно зависит от размерности, а в значительной степени непредсказуем по времени решения. Решение аналогичной задачи для n = 23 дает еще больший разброс ресурсов выполнения: от менее чем 1 мс до нескольких часов и более. Разумеется, такое свойство делает АР чрезвычайно ненадежным инструментом для научных исследований, тем более для решения производственно-экономических задач.

Справиться с данной проблемой можно двумя путями. Возможно усовершенствование алгоритма Романовского реализацией более эффективных принципов выполнения его этапов и шагов. Один из путей такого решения задачи – внутренний мониторинг процесса и организация подсистемы принятия и осуществления решений внутреннего управления перебором вариантов.

Другой путь более радикален. Он связан с отходом от традиционного последовательного применения алгоритма к исходному линейному списку заданий с практически бесконтрольным их распределением в пределах этапа обеспечения пресловутой z-задачи. Можно попытаться построить вполне осознанный алгоритм преобразования некоторого уже существующего, хотя и неоптимального, но допустимого распределения.

Постановка задачи. Пусть задана произвольно полученная таблица распределения исходного множества W заданий w_i в среде ИС с N исполнителями E_j (табл. 2). Таблица заполнена значениями ресурсов распределенных исполнителям заданий.

Таблица 2

		Номер j исполнителя в ИС размера m					
		1	2	…	j	…	m
Условный номер i задания у исполнителя	1	r_{11}	r_{12}	…	r_{ij}	…	r_{1m}
	2	r_{21}	r_{22}	…	r_{ij}	…	r_{2m}
	…	…	…	…	…	…	…
	i	r_{i1}	r_{i2}	…	r_{ij}	…	r_{im}
	…	…	…	…	…	…	…
	…	…	…	…	…	…	$r_{n_m m}$
	…	$r_{n_1 1}$	…	…	…	…	
	…		$r_{n_2 2}$		…		
	$n_{\max}$				$r_{n_j j}$		

В табл. 2 вертикальные столбцы в общем случае неодинаковы по размеру, так как разным исполнителям могут быть назначены различные задания. Поэтому они заканчиваются на различных условных строках с номером n_k, величина которого будет зависеть от решаемой задачи, критерия выбора решения и применяемого алгоритма. Индекс k соответствует номеру столбца, т. е. условному номеру загруженного заданиями устройства. Максимальное количество строк в столбце обозначено как $n_{\max}$. В приведенной иллюстративной таблице $n_{\max} = n_{n_j j}$.

Описанную таблицу предлагается называть «исходной таблицей распределения» (ИТР) заданий. Пример ИТР распределения 15 заданий между 4 исполнителями приведен в табл. 3. В данном варианте распределения заданий 1-му и 3-му условным исполнителям назначено по 3 задания, 2-му исполнителю – 5 заданий, а 4-му исполнителю – 4 задания. Ясно, что конфигурации таких таблиц могут быть самыми разными.

Таблица 3

		Номер исполнителя			
		1	2	3	4
Условный номер *i* задания у исполнителя	1	69	37	63	46
	2	56	41	59	39
	3	65	34	65	57
	4		32		47
	5		42		

Структура данных, заданная в табл. 2, неудобна для математической обработки и построения алгоритма решения РЗ. Поэтому в статье вводится понятие распределительной матрицы (РМ), которая отличается от таблицы тем, что имеет одинаковые размеры столбцов за счет дополнения всех n_k до $n_{\max}$ нулевыми ресурсами дополнительных условных заданий, не требующих выполнения. Поэтому РМ будет выглядеть следующим образом:

$$M_R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}, \qquad (9)$$

где $\forall i, j : i > n_j \to r_{n_j j} = 0$.

Так, для ИТР в табл. 3 РМ будет иметь вид

$$M_R = \begin{bmatrix} 69 & 41 & 63 & 46 \\ 56 & 37 & 59 & 39 \\ 65 & 34 & 65 & 57 \\ 0 & 32 & 0 & 47 \\ 0 & 42 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \qquad (9a)$$

Матрицу (9) можно записать также в следующем виде:

$$M_R = \begin{bmatrix} \bar{R}_1 & \bar{R}_2 & \ldots & \bar{R}_m \end{bmatrix}, \qquad (10)$$

где $\bar{R}_j$ – столбцы загрузки (СЗ), составленные из ресурсов заданий, распределенных *j*-му исполнителю.

Построенную таким образом на основе ИТР матрицу можно назвать исходной распределительной матрицей (ИРМ).

Во введенных обозначениях СЗ являются РМ для своего исполнителя. Основной характеристикой СЗ является общий ресурс выполнения всех его заданий, совпадающий по величине с введенным ресурсом исполнителя R_j, несмотря на разное количество суммируемых членов. Следовательно,

$$\sum_{i=1}^{n} r_{ij} = R_j . \qquad (11)$$

Тогда ресурсной характеристикой РМ является матрица-строка

$$R_M = \begin{bmatrix} R_1 & R_2 & \ldots & R_m \end{bmatrix}, \qquad (12)$$

которую естественно назвать «ресурсной строкой» (РС) данной РМ.

Так, распределительную матрицу (9а) характеризует РС

$$R_M = \begin{bmatrix} 190 & 186 & 187 & 189 \end{bmatrix}. \qquad (12a)$$

Оптимизационную распределительную задачу можно сопоставить с математической моделью, базирующейся на некотором образом полученной ИРМ, содержащей СЗ $\bar{R}_j$, и ее ресурсных оценках R_j, составляющих РС. Эту ИРМ необходимо преобразовать так, чтобы удовлетворить выбранному оптимизационному критерию. Во введенных математических конструкциях минимаксный критерий (7), например, примет следующий вид:

$$Q^{mm}\left[M_R\right] = \min \max_j \left\{R_j \mid j = \overline{1,m}\right\}. \tag{13}$$

Преобразованная из ИРМ новая по структуре РМ, удовлетворяющая отношению (13), будет «оптимальной по ММК распределительной матрицей» (ОРМ). Полученная ОРМ может так же, как и ИРМ, содержать нулевые элементы, соответствующие фиктивным заданиям, обеспечивающим матричный вид математической модели распределения. Отбрасыванием этих элементов ОРМ можно превратить в таблицу оптимального распределения (ТОР) заданий.

Таким образом, решаемую задачу можно определить как преобразование ИТР к ТОР. Для эффективной алгоритмизации этого процесса математическая модель однородной РЗ, разработанная выше, дополнена понятиями ресурсов выполнения заданий r_{ij} распределительной матрицы M_R и ресурсной матрицы-строки R_M. Построение алгоритма преобразования M_R, оптимизирующего результат решения РЗ и позволяющего получить из произвольной ИТР наиболее эффективную по ММК и/или КРЗ таблицу распределения заданий, является предметом настоящего исследования.

Базовые понятия и характеристики исходных и преобразованных РМ. Для упрощения формулировки и реализации разрабатываемого алгоритма удобно ввести ограничения на структуру РМ, выражающиеся в следующих требованиях к столбцам и строкам этой матрицы, а также ее преобразования путем соответствующих алгоритмических перестроений:

1) каноническим расположением элементов во всех m столбцах РМ является убывание значений ресурсов заданий относительно возрастающего значения индекса строки i;

2) если преобразование РМ приводит к нарушению канонического порядка построения столбца, то он перестраивается к каноническому виду;

3) каноническим расположением столбцов РС и РМ является возрастание ресурса R_j относительно возрастающего значения индекса столбца j;

4) если преобразование РМ приводит к нарушению канонического порядка построения РС и РМ, то порядок столбцов приводится к каноническому виду.

Распределительная матрица (9а), приведенная к каноническому виду, что отмечено в обозначении верхним индексом c, будет выглядеть следующим образом:

$$M_R^c = \begin{bmatrix} 42 & 65 & 57 & 69 \\ 41 & 63 & 47 & 65 \\ 37 & 59 & 46 & 56 \\ 34 & 0 & 39 & 0 \\ 32 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \tag{9б}$$

а характеризующая ее ресурсная матрица-строка примет вид

$$R_R^c = \begin{bmatrix} 186 & 187 & 189 & 190 \end{bmatrix}. \tag{12б}$$

Таким образом, в дальнейшем при исследовании математической модели РЗ в сформулированной выше постановке следует считать, что матрицы этой модели приведены к канонической форме.

Определение 1. Ресурсный столбец $\bar{R}_j$, отвечающий требованию 1 и распределительная матрица, отвечающая требованию 3, называются каноническими и обозначаются аббревиатурами КРС и КРМ соответственно.

Поскольку критерии оптимизации решения РЗ (7) и (8) связаны с минимизацией наибольшего ресурса РС в РМ и величины различия между ресурсами РС в РМ, важной характеристикой РМ и составляющих ее РС следует считать разность ресурсов двух РС, в первую очередь, максимального и минимального.

Определение 2. Разность большего и меньшего ресурсов $\Delta R_j^l = R_l - R_j$ любых двух РС $\bar{R}_l$ и $\bar{R}_j$ из РМ называется дефицитом этих столбцов, а наибольший из них называется дефицитом распределительной матрицы.

Для теоретически обоснованного построения алгоритма преобразования и оптимизации РМ необходимо выявить и сформулировать ее базовые свойства.

Свойство элементной и ресурсной неизменности РМ состоит в том, что ни количество распределяемых заданий, ни назначенный им оценочный ресурс выполнения, ни количество исполнителей в ИС в процессе преобразования РМ меняться не могут, согласно концептуальной модели РЗ.

Это общее свойство порождает следующие частные свойства РМ, справедливые на любой стадии ее преобразования:

– ни при каких преобразованиях РМ не должно меняться количество распределяемых заданий, т. е. соблюдается условие

$$\sum_{j=1}^{m} n_j = n \to \sum_{j=1}^{m} P_r\left\{\bar{R}_j\right\} = n\,, \tag{14}$$

где $P_r\left\{\bar{R}_j\right\}$ – реальная мощность каждого РС $\bar{R}_j$;

– ни при каких преобразованиях РМ не должны меняться ресурсы распределяемых заданий, а значит и их общий ресурс, эта аксиома математически представлена равенством (4);

– ни при каких преобразованиях РМ не должно меняться количество исполнителей заданий, а значит, ни один ресурс исполнителя не должен быть нулевым, т. е.

$$\forall\, j = \overline{1, n} \to R_j \neq 0\,.$$

Сформулированные выше и вполне очевидные свойства однородной РЗ позволяют выявить не столь очевидные свойства РМ и математически обосновать модель преобразований, позволяющих улучшать РМ и, в ряде случаев, приводить ее к ОРМ.

Перестановочные, ухудшающие и улучшающие преобразования РМ, оперирующие одиночными заданиями. Рассмотрим РМ (9) и РС (12) в формах КРМ и КРС

$$M_R^c = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}, \tag{15}$$

$$R_M^c = \begin{bmatrix} R_1 & R_2 & \ldots & R_m \end{bmatrix}, \tag{16}$$

в которых выполняются следующие условия:

$$\forall\, i \in \left[1, n\right], j \in \left[1, m\right] \to r_{ij} \geq r_{i+1\,j}\,,\ R_j \leq R_{j+1}\ . \tag{17}$$

Определение 3. Перестановка p-го элемента j-го СЗ на место q-го элемента l-го СЗ ($j \neq l$), а q-го элемента l-го СЗ на освободившееся место называется одинарным перестановочным преобразованием (ОПП).

Свойство 1 ОПП в КРМ. При перестановке элементов r_{pj} и r_{ql} между СЗ $\bar{R}_j$ и $\bar{R}_l$ их ресурсы меняются следующим образом:

$$R'_j = R_j - r_{pj} + r_{ql};\ R'_l = R_l + r_{pj} - r_{ql}:\ R'_j + R'_l = R_j + R_l, \qquad (18)$$

где R'_j, R'_l – ресурсы РС с теми же индексами после перестановки.

В рассмотренном примере перестановка заданий с ресурсами r_{22} = 63 и r_{24} = 65 приведет к изменению ресурсов 2-го и 4-го столбцов: $R'_2 = 187 -$ 63 + 65 = 189; $R'_4 = 190 +$ 63 – 65 = 188. Аналогично ПП r_{31} = 37 и r_{43} = 39 приведет к изменению ресурсов 1-го и 3-го столбцов: $R'_1 = 186 -$ 37 + 39 = 188; $R'_3 = 189 +$ 37 – 39 = 187.

Необходимо отметить, что, хотя такое ПП не изменяет общий ресурс R матрицы РМ, в силу (18) оно может привести к существенному изменению ее структуры. Поэтому КРМ после ПП может потерять (и чаще всего теряет) канонические свойства. Это может произойти как из-за нарушения канонического свойства убывания ресурсов заданий в столбцах, так и из-за нарушения канонического свойства возрастания ресурсов столбцов. Следовательно, после ПП РМ необходимо проверить на соответствие каноническим свойствам и при необходимости перестроить к каноническому виду.

После сделанной в примере перестановки РМ потеряла канонические свойства по последовательности ресурсов исполнителей:

$$M_R^c = \begin{bmatrix} 42 & 65 & 57 & 69 \\ 41 & 65 & 47 & 63 \\ 39 & 59 & 46 & 56 \\ 34 & 0 & 37 & 0 \\ 32 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \qquad (9в)$$

так как характеризующая ее ресурсная матрица-строка приняла вид

$$R_R^c = \begin{bmatrix} 188 & 189 & 187 & 188 \end{bmatrix}, \qquad (12в)$$

но уменьшился максимальный ресурс исполнителя и дефицит РМ.

Свойство 2 ОПП в КРМ. При перестановке r_{pj} и r_{ql} в КРМ дефицит ресурсов j-го и l-го столбцов меняется по формуле

$$R'_l - R'_j = \left(R_l - R_j\right) + 2\left(r_{pj} - r_{ql}\right). \qquad (19)$$

Согласно ММК уменьшение наибольшего ресурса РС из РМ улучшает критериальные свойства РЗ. Согласно КРЗ уменьшение разности ресурсов РС в РМ также улучшает критериальные свойства РЗ. Очевидно, что в зависимости от конкретных значений R_j и R_l, а также r_{pj} и r_{ql} каждая из скобок в правой части равенства (19) может быть как положительной, так и отрицательной. Однако в КРМ ресурсы СЗ упорядочены, поэтому знак первой скобки в (19) зависит от соотношения индексов: если $l > j$, то $R_l \ge R_j$ и $R_l - R_j \ge 0$. Тогда ресурсный результат перестановки зависит только от знака второй скобки (19).

Свойство 3 ОПП в КРМ. Если $l > j$, то для обеспечения возможности улучшения ресурсных свойств РМ необходимо, чтобы $r_{pj} < r_{ql}$.

Действительно, согласно (18) и (19) уменьшение разности большего и меньшего ресурсов РС за счет ОПП приводит одновременно и к уменьшению наибольшего из ресурсов РС в РМ. Поэтому такое ОПП улучшает критериальные свойства РЗ как по КРЗ, так и по ММК. Так, например, полученная выше РС (12в) сразу показывает положительный результат ОПП: оценка по максимальной загрузке снизилась на единицу, а максимальный дефицит загрузки РМ уменьшился вдвое.

Определение 4. Одинарное ПП, приводящее к улучшению критериальных свойств РМ, считается улучшающим (УПП).

Свойство 4 ОПП в КРМ. При выполнении свойства 3 ОПП в КРМ, отвечающее условию

$$R_j - R_l < R_l' - R_j' < R_l - R_j \, , \tag{20}$$

является УПП.

Двойное неравенство (20) обусловлено тем, что по разным причинам (например, из-за наличия единственной пары перспективных для перестановки заданий) ОПП может привести не только к уменьшению дефицита $R_l' - R_j'$, но и к его отрицательности, т. е. ресурс *j*-го столбца станет больше *l*-го. Это допустимо, если модуль дефицита все-таки уменьшится. Подставив в (20) формулу (18), получим условия реализации свойства 4 ОПП в КРМ

$$R_l - R_j > r_{pj} - r_{ql} > 0 \, . \tag{21}$$

Действительно, в рассмотренном примере разность ресурсов переставляемых заданий 65 – 63 = 39 – 37 = 2, а дефициты ресурсов соответствующих РС 190 – 187 = 189 – 186 = 3, что удовлетворят системе неравенств (21).

Перестановочное преобразование, не отвечающее свойству 4, следует назвать «ухудшающим», т. е. бесперспективным.

Свойство 5 ОПП в КРМ. Идеология КРЗ приводит к утверждению, что для него наилучшим ОПП для двух столбцов является такое, которое максимально приближает к нулю их дефицит, откуда вторая скобка в (19) – дефицит выравнивания ресурсов (ДВР) переставляемых заданий – должна отвечать условию

$$r_{ql} - r_{pj} = \left\lfloor \frac{R_l - R_j}{2} \right\rfloor, \text{ либо } r_{ql} - r_{pj} = \left\lceil \frac{R_l - R_j}{2} \right\rceil, \tag{22}$$

где символами $\lfloor \ \rfloor$ и $\lceil \ \rceil$ обозначены операции взятия меньшего и большего целого, соответственно (в рассмотренном примере разность ресурсов заданий отвечает второму из условий).

Свойство 6 ОПП в КРМ. Идеология ММК приводит к утверждению, что для этого критерия наилучшим ПП для двух столбцов является такое, которое максимально приближает ресурс одного из них к среднему ресурсу РМ, откуда вторая скобка в (19) – дефицит минимизации ресурсов (ДМР) переставляемых заданий – должна отвечать условию

$$r_{ql} - r_{pj} = \mathrm{round}\left(\frac{R_l - R_{cp}}{2}\right), \text{ либо } r_{ql} - r_{pj} = \mathrm{round}\left(\frac{R_{cp} - R_j}{2}\right), \tag{23}$$

где функция round означает операцию взятия ближайшего целого.

Рассмотренные выше свойства найдены для ОПП. Однако перестановке могут подвергаться пары, тройки и т. д. заданий, а также группы заданий неравной мощности. Этот случай предполагается исследовать в следующей статье.

Селективно-перестановочный алгоритм (СПА) улучшения решения РЗ в однородных ИС, оперирующий одиночными заданиями. Выявленные выше свойства и математические модели, определяющие результаты ПП одиночных заданий, позволяют построить несложный, но эффективный алгоритм решения РЗ, стартовой моделью которой является произвольно полученное решение. Оно может быть результатом применения приближенного метода, например, алгоритма критического пути [3, 6, 7], или промежуточным результатом реализации АР.

В соответствии с полученными в работе моделями алгоритм должен состоять из предварительного стартового этапа подготовки математической модели РЗ и трех последовательно повторяющихся функционально ориентированных этапов преобразования и анализа распределительных матриц.

0. Стартовый этап состоит в получении ИТР и преобразовании ее в исходную РМ, подлежащую оптимизации, и характеризующую ее РС.

I. Следующий этап состоит в перестройке структур РМ и РС к каноническому виду (15) и (16) – КРМ и КРС.

II. Постолбцовый относительно РМ и поэлементный относительно СЗ параметрический сравнительный анализ ресурсов заданий исполнителей, наиболее перспективных для УПП, в соответствии с (21), (22).

III. Принятие и реализация решения

– о перестановке заданий в анализируемом и преобразуемом массиве с последующим возвратом ко II этапу;

– об отсутствии в анализируемом варианте КРМ дальнейших УПП и завершении работы алгоритма улучшения РМ.

I. Перестройка исходной ТР в каноническую РМ.

Уже приводился пример перестроения исходной таблицы загрузки в распределительную матрицу канонической формы, которое осуществляется в соответствии с определенными выше и некоторыми дополнительными правилами (Пр.) частного порядка.

Пр.I.1. Элементы ИТР располагаются на соответственных местах $n \times m$-матрицы, где величина n определяется максимальным количеством заданий среди назначенных таблицей исполнителям.

Пр.I.2. Элементы каждого столбца РМ располагаются в порядке убывания ресурсов назначенных исполнителям заданий, что не изменяет существа решаемой РЗ, так как в задачах этого класса порядок выполнения заданий не регламентируется.

Пр.I.3. Нижние строки столбцов загрузки исполнителей с меньшим, чем n количеством заданий дополняются нулями до размера столбца n.

Пр.I.4. Ввиду условности нумерации исполнителей для однородных РЗ, столбцы располагаются в порядке возрастания их ресурса загрузки R_j, в результате чего исполнители с максимальной загрузкой оказываются в матрице последними.

Пр.I.5. При одинаковых ресурсах загрузки СЗ располагаются в порядке возрастания их ресурсов в первых строках.

Пр.I.6. При одинаковых ресурсах заданий в первых строках СЗ они располагаются в порядке возрастания ресурсов заданий вторых строк и т. д.

Результатом реализации первого этапа алгоритма СПА является построение КРМ.

II. Поэлементный параметрический сравнительный анализ ресурсов.

Для анализа решаемой распределительной задачи используются введенные выше понятия и их численные оценки:

- взаимный дефицит столбцов загрузки: $\Delta R_j^l = R_l - R_j$;
- максимальный дефицит СЗ $\Delta R_{\max}$ для текущего варианта РМ;
- приоритетный ряд пар СЗ по убыванию ΔR_j^l, перспективных для УПП;
- приоритетный ряд пар ресурсов заданий вида r_{pj} и r_{ql} для исследуемой перспективной

пары СЗ, построенный по убыванию $\Delta r_p^q = r_{ql} - r_{pj}$.

Таким образом, численный мониторинг структуры улучшаемой РМ на каждом шаге преобразования ее СЗ позволяет условно разбить эти столбцы на две группы. Первая группа – это СЗ-клиенты. Они группируются в основном слева[1], имеют наименьший ресурс в выбранной перспективной паре и являются претендентами на увеличение ресурса. Вторая группа – это СЗ-доноры.

[1] Условная ориентация, принятая в данной работе.

Они имеют наибольший ресурс в выбранной перспективной паре, являются претендентами на уменьшение ресурса, группируются в основном справа и рассматриваются на возможность передачи части ресурса «клиентам».

Сравнительный анализ осуществляется в соответствие со следующими правилами:

Пр.II.1. Анализ КРМ начинается с верхнего элемента ее последнего столбца, ресурс которого $R_m = \max_j \{R_j\}$ в силу каноничности. Этот элемент сравнивается поэлементно с ресурсами первого столбца, у которого $R_1 = \min_j \{R_j\}$.

Пр.II.2. Если перебор элементов СЗ-клиента проходит без выделения перспективной для УПП пары и на последнем ненулевом элементе также показал невыполнение условия (21), то алгоритм переходит к рассмотрению следующего по номеру СЗ-клиента с дефицитом загрузки.

Пр.II.3. Выполнение соотношения (21) указывает на перспективность анализируемой пары, и ее индексы вместе с прогнозируемым результатом по улучшению дефицита загрузки вносятся в организованный программой упорядоченный список перспективных пар.

Пр.II.4. Если в ходе реализации алгоритма произошел перебор всех столбцов-клиентов и не выявлена ни одна перспективная пара, СЗ-донор помечается как бесперспективный и исключается из поля действия алгоритма, а к рассмотрению принимается СЗ со следующим меньшим номером $k = m - 1$ и таким же максимальным ресурсом $R_k = \max_j \{R_j\}$.

Пр.II.5. Если очередной СЗ-донор имеет ресурс $R_k < \max_j \{R_j\}$, то задача улучшения решения по минимаксному критерию в рамках алгоритма с одинарными перестановками неразрешима.

Пр.II.6. Если в решаемой РЗ рассматривается задача улучшения КРЗ, мониторинг структуры КРМ продолжается либо до получения списка перспективных УПП либо до безрезультатной обработки СЗ-донора с $k = 2$.

Пр.II.7. Если получен список УПП, то он ранжируется по ДВР или ДМР, из него выбирается пара с максимальным дефицитом и осуществляется переход к третьему этапу СПА.

III. Управляющие решения по перестановкам элементов РМ.

Пр.III.1. Производится УПП для наиболее перспективной пары, характеризующейся максимальным ДВР или ДМР и обеспечивающей максимальный эффект ресурсного улучшения РМ.

Пр.III.2. После УПП изменяются структуры РМ и РС, поэтому, если это оказывается необходимым, производится приведение их к канонической форме, т. е. осуществляется возврат к I этапу.

Пр.III.3. Если в процессе мониторинга ресурсной структуры последнего СЗ-донора УПП не получен, то делается вывод о бесперспективности применения алгоритма с одинарными перестановками в решаемой задаче и осуществляется выход из СПА.

Пример применения СПА решения однородной РЗ. Результат начального применения разработанных в статье оценок и алгоритма отражен в табл. 4. В ней на условном 0-м шаге помещена ИТР – таблица решения однородной РЗ методом критического пути. Из таблицы видно, что, во-первых, в этом случае результат работы этого быстрого, но приближенного алгоритма крайне неудачен, так как максимальный дефицит распределения достигает 17% найденного в дальнейшем оптимума по ММК. Кроме того, структура данных таблицы очень далека от канонической. Поэтому на первом шаге ИТР приведена к РМ добавкой заданий с нулевыми ресурсами, а затем к КМР. Последняя проанализирована на наиболее перспективную УПП.

Наиболее высокий дефицит ресурсов на первом шаге показали элементы первого СЗ-клиента и последнего СЗ-донора, выделенные утолщенной границей. Поэтому на втором шаге они подвергнуты УПП.

Таблица 4

Оптимизация решения распределительной задачи одинарными перестановками

Шаги ПП РМ	Одинарные ПП в РМ		Исполнители				
			1	2	3	4	5
	Виды РМ	Средний ресурс	Ресурсы столбцов				
0 шаг	Исходная таблица распределения заданий	268,4	265	265	244	279	289
		Ресурсы заданий	36	49	46	37	43
			52	65	62	32	32
			35	37	52	39	51
			52	46	34	30	64
			42	68	50	40	46
			48			46	53
						55	
		Дефицит	24	24	45	10	0
1 шаг	РМ в канонической форме	268,4	244	265	265	279	289
		Ресурсы заданий	62	52	68	55	64
			52	52	65	46	53
			50	48	49	40	51
			46	42	46	39	46
			34	36	37	37	43
			0	35	0	32	32
			0	0	0	30	0
		Дефицит	45	24	24	10	0
2 шаг	Преобразованная РМ	268,4	263	265	265	279	270
		Ресурсы заданий	62	52	68	55	64
			52	52	65	46	34
			50	48	49	40	51
			46	42	46	39	46
			53	36	37	37	43
			0	35	0	32	32
			0	0	0	30	0
		Дефицит	16	14	14	0	9
3 шаг	РМ в канонической форме	268,4	263	265	265	270	279
		Ресурсы заданий	62	52	68	64	55
			53	52	65	51	46
			52	48	49	46	40
			50	42	46	43	39
			46	36	37	34	37
			0	35	0	32	32
			0	0	0	0	30
		Дефицит	16	14	14	9	0
4 шаг	Преобразованная РМ	268,4	268	265	265	270	274
		Ресурсы заданий	62	52	68	64	50
			53	52	65	51	46
			52	48	49	46	40
			55	42	46	43	39
			46	36	37	34	37
			0	35	0	32	32
			0	0	0	0	30
		Дефицит	6	9	9	4	0
5 шаг	РМ в канонической форме	268,4	265	265	268	270	274
		Ресурсы заданий	52	68	62	64	50
			52	65	55	51	46
			48	49	53	46	40
			42	46	52	43	39
			36	37	46	34	37
			35	0	0	32	32
			0	0	0	0	30
		Дефицит	9	9	6	4	0

Окончание табл. 4

6 шаг	Преобразованная РМ	268,4	269	265	268	270	270
		Ресурсы заданий	52	68	62	64	50
			52	65	55	51	42
			48	49	53	46	40
			46	46	52	43	39
			36	37	46	34	37
			35	0	0	32	32
			0	0	0	0	30
		Дефицит	1	5	2	0	0
7 шаг	РМ в канонической форме	268,4	265	268	269	270	270
		Ресурсы заданий	68	62	52	64	50
			65	55	52	51	42
			49	53	48	46	40
			46	52	46	43	39
			37	46	36	34	37
			0	0	35	32	32
			0	0	0	0	30
		Дефицит	5	2	1	0	0
8 шаг	Преобразованная РМ	268,4	267	268	269	270	268
		Ресурсы заданий	68	62	52	64	50
			65	55	52	51	42
			49	53	48	46	40
			46	52	46	43	37
			39	46	36	34	37
			0	0	35	32	32
			0	0	0	0	30
		Дефицит	3	2	1	0	2
9 шаг	РМ в канонической форме	47,2	267	268	268	269	270
		Ресурсы заданий	68	50	62	52	64
			65	42	55	52	51
			49	40	53	48	46
			46	37	52	46	43
			39	37	46	36	34
			0	32	0	35	32
			0	30	0	0	0
		Дефицит	3	2	2	1	0
10 шаг	Преобразованная РМ	47,6	269	268	268	269	268
		Ресурсы заданий	68	50	62	52	64
			65	42	55	52	49
			51	40	53	48	46
			46	37	52	46	43
			39	37	46	36	34
			0	32	0	35	32
			0	30	0	0	0
		Дефицит	0	1	1	0	1
11 шаг	Оптимальная по ММК и КРЗ каноническая РМ	47,6	268	268	268	269	269
		Ресурсы заданий	50	62	64	52	68
			42	55	49	52	65
			40	53	46	48	51
			37	52	43	46	46
			37	46	34	36	39
			32	0	32	35	0
			30	0	0	0	0
		Дефицит	1	1	1	0	0

Наиболее высокий дефицит ресурсов на первом шаге показали элементы первого СЗ-клиента и последнего СЗ-донора, выделенные утолщенной границей. Поэтому на втором шаге они подвергнуты УПП, что эффективно улучшило распределение ресурсов между исполнителями. Максимальный дефицит загрузки снизился с 45 до 16. Соответственно с 289 до 279 уменьшилась максимальная загрузка ИС. Таким образом, решение РЗ уже на втором шаге приблизилось к экстремумам как по ММК, так и по КРЗ.

Однако произведенное УПП существенно изменило структуру РМ как по загрузке исполнителей, так и по последовательности ресурсов преобразованных СЗ. Поэтому на третьем шаге РМ вновь приведена к КРМ, и проведен ее мониторинг, который выявил новую перспективную для УПП пары заданий. Они выделены двойными границами и на четвертом шаге подвергнуты УПП, что улучшает дефицит почти вдвое (с 16 до 9) и понижает максимальную загрузку с 279 до 274, т. е. реализация СПА демонстрирует продолжение приближения решения РЗ к экстремумам ММК и КРЗ.

Далее, после приведения измененной РМ к КРМ, процесс мониторинга и УПП продолжается. Следующие перспективные задания-клиенты и задания-доноры выделяются соответственно тройными, жирными и двойными зигзагообразными границами. Все эти и примененные выше выделения сохраняются за элементами РМ (ресурсами заданий) до конца табл. 4.

Как видно из табл. 4, на 9–11 шагах выявляется и реализуется последнее УПП, которое отмечено двойными зигзагообразными границами. Дальнейшие улучшающие преобразования невозможны, так как максимальный дефицит РС равен 1, и любая неухудшающая перестановка заданий приведет лишь к обмену ресурсами 269 и 268 между исполнителями.

Выводы. Таким образом, на 10 шаге селективно-перестановочного алгоритма с одинарными УПП получена ОРМ, описывающая решение, оптимальное сразу по двум критериям: ММК и КРЗ (аналогичный результат получен и в [9], но там уже полученный оптимум по ММК улучшался по КРЗ). Ресурс алгоритма МКП, которым получено стартовое распределение заданий, составил доли миллисекунды. Несколько сортировочно-перестановочных преобразований занимают не больше времени. В результате решение может быть получено менее чем за 1 мс. Алгоритму Романовского на решение этой задачи потребовалось 4 мс. При этом качество распределения, полученное АР, немного хуже (см. табл. 5), так как его ОРМ имеет дефицит 2, т. е. не оптимально по КРЗ.

Таблица 5

Результат решения РЗ с помощью АР		Исполнители				
		1	2	3	4	5
Средний ресурс		Ресурсы столбцов				
268,4		269	268	269	269	267
Условные номера заданий у исполнителя	1	68	62	52	49	43
	2	65	55	52	48	40
	3	64	53	51	46	39
	4	42	52	50	46	37
	5	30	46	32	46	37
	6			32	34	36
	7					35
		Ресурсы заданий				
Дефицит загрузки		0	1	0	0	2

Библиографический список

1. Конвей Р.В. Теория расписаний / Р.В. Конвей, В.Л. Максвелл, Л.В. Миллер. – М.: Наука, 1975. – 360 с.

2. Коффман Э.Г. Теория расписания и вычислительные машины / Э.Г. Коффман. – М.: Наука, 1987. – 334 с.

3. Романовский И.В. Алгоритмы решения экстремальных задач / И.В. Романовский. – М.: Наука,1977. – 352 с.

4. Филиппов А.В. Эквивалентно-селективный метод повышения эффективности работы распределительных алгоритмов / А.В. Филиппов, З.Х. Ягубов, Р.А. Нейдорф // Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии на предприятиях машиностроения, авиастроения, транспорта и сельского хозяйства: тр. IX Междунар. науч.-техн. конф. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 1184 с. – С. 366–373.

5. Нейдорф Р.А. Селективно-минимизирующий метод повышения эффективности работы приближенных распределительных алгоритмов / Р.А. Нейдорф, А.В. Филиппов, З.Х. Ягубов // Системный анализ, управление и обработка информации: тр. 1-го Междунар. семинара студентов, аспирантов и ученых / под общ. ред. Р.А. Нейдорфа. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 312 с. – С. 106–115.

6. Будиловский Д.М. Оптимизация решения задач теории расписаний на основе эволюционно-генетической модели распределения заданий: дисс. ... канд. техн. наук / Д.М. Будиловский. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2007.

7. Филиппов А.В. Ресурсно-точностной анализ алгоритма критического пути / А.В. Филиппов // Системный анализ, управление и обработка информации: тр. 1-го Междунар. семинара студентов, аспирантов и ученых / под общ. ред. Р.А. Нейдорфа. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 312 с. – С. 98–106.

8. Нейдорф Р.А. Методологические проблемы теории расписаний / Р.А. Нейдорф, В.Г. Кобак // Системный анализ, управление и обработка информации: 1-й межвуз. сб. науч. ст. / ДГТУ; ТТИ ЮФУ. – Ростов н/Д, 2007. – С. 101–108.

9. Нейдорф Р.А. Перестановочный алгоритм биэкстремального решения однородной распределительной задачи / Р.А. Нейдорф, А.В. Филиппов, З.Х. Ягубов // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 11. – № 5.

Материал поступил в редакцию 22.08.11.

References

1. Konvej R.V. Teoriya raspisanij / R.V. Konvej, V.L. Maksvell, L.V. Miller. – M.: Nauka, 1975. – 360 s. – In Russian.

2. Koffman E`.G. Teoriya raspisaniya i vy`chislitel`ny`e mashiny` / E`.G. Koffman. – M.: Nauka, 1987. – 334 s. – In Russian.

3. Romanovskij I.V. Algoritmy` resheniya e`kstremal`ny`x zadach / I.V. Romanovskij. – M.: Nauka, 1977. – 352 s. – In Russian.

4. Filippov A.V. E`kvivalentno-selektivny`j metod povy`sheniya e`ffektivnosti raboty` raspredelitel`ny`x algoritmov / A.V. Filippov, Z.X. Yagubov, R.A. Nejdorf // Innovaciya, e`kologiya i resursosberegayushhie texnologii na predpriyatiyax mashinostroeniya, aviastroeniya, transporta i sel`skogo xozyajstva: tr. IX Mezhdunar. nauch.-texn. konf. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2010. – 1184 s. – S. 366–373. – In Russian.

5. Nejdorf R.A. Selektivno-minimiziruyushhij metod povy`sheniya e`ffektivnosti raboty` priblizhyonny`x raspredelitel`ny`x algoritmov / R.A. Nejdorf, A.V. Filippov, Z.X. Yagubov // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii: tr. 1-go Mezhdunar. seminara studentov, aspirantov i uchyony`x / pod obshh. red. R.A. Nejdorfa. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2010. – 312 s. – S. 106–115. – In Russian.

6. Budilovskij D.M. Optimizaciya resheniya zadach teorii raspisanij na osnove e`volyucionno-geneticheskoj modeli raspredeleniya zadanij: diss. ... kand. texn. nauk / D.M. Budilovskij. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2007. – In Russian.

7. Filippov A.V. Resursno-tochnostnoj analiz algoritma kriticheskogo puti / A.V. Filippov // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii: tr. 1-go Mezhdunar. seminara studentov, aspirantov i uchyony`x / pod obshh. red. R.A. Nejdorfa. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2010. – 312 s. – S. 98–106. – In Russian.

8. Nejdorf R.A. Metodologicheskie problemy` teorii raspisanij / R.A. Nejdorf, V.G. Kobak // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii: 1-j mezhvuz. sb. nauch. st. / DGTU; TTI YUFU. – Rostov n/D, 2007. – S. 101–108. – In Russian.

9. Nejdorf R.A. Perestanovochny`j algoritm bie`kstremal`nogo resheniya odnorodnoj raspredelitel`noj zadachi / R.A. Nejdorf, A.V. Filippov, Z.X. Yagubov // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2011. – T. 11. – # 5. – In Russian.

SELECTIVE-PERMUTATIONAL METHOD FOR SOLVING PROBLEMS ON PARALLEL DISTRIBUTION OF TASKS AMONG PERFORMERS: SINGLE PERMUTATIONS

R.A. NEYDORF
(Don State Technical University)

A new for the classical scheduling theory approach to solving distribution problems is offered. The approach is based on the introduction of the concepts of distribution matrices, estimate criteria of their properties and a developed algorithm of their enhancing transformations. The method named 'selective-permutational', as it is based on the selection and permutation of the perspective column elements of the distribution matrices, is formulated. Several examples are given.
Keywords: *scheduling theory, allocation problem, optimization criterion, minimax criterion, selective approach, permutational algorithm, distribution matrix, resource column, single permutation.*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.89+621.518.2

УПРАВЛЕНИЕ ТОЧНОСТЬЮ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ЗНАНИЙ СТАНКА

А.К. ТУГЕНГОЛЬД
(Донской государственный технический университет)

Представлена стратегия подхода к созданию интеллектуальных систем управления точностью станков как мехатронных технологических систем, которая основана на использовании современных представлений в области образования погрешностей, управления точностью обработки с использованием возможностей GKM и электронного документирования промышленных объектов.
Ключевые слова: *точность обработки деталей, интеллектуальное управление, система знаний станка, обобщенные знания технологической системы.*

Введение. В статье рассматриваются мехатронные объекты и устройства, предназначенные для выполнения технологических функций, в первую очередь, металлорежущие станки. Главный аспект подхода – решение актуальных проблем управления для обеспечения высокой точности изделий, получаемых в результате выполнения операций обработки.

Вопросам исследования точности металлорежущих станков и обработки деталей посвящались работы многих выдающихся ученых, в том числе А.П. Соколовского, А.Н. Гаврилова, Б.С. Балакшина, В. С. Корсакова, А.А. Маталина, К.С. Колева, Ю.М. Соломенцева, В.Г. Митрофанова, Д.Н. Решетова, В.Э. Пуша, В.Т. Портмана, В.А. Ратмирова. Эти работы, выполненные во второй половине XX в., до сих пор имеют научную ценность.

В настоящее время вопросы точности обработки продолжают оставаться актуальными, так как возрастают требования к точности деталей и машин, сохранению точности под нагрузкой и во времени. Они отражены в работах отечественных ученых В.В. Бушуева, В Ц. Зориктуева, А.Н. Полякова, В.П. Серебрякова, В.В. Юркевича, С.В. Биленко и др., а также зарубежных исследователей. При этом акценты сместились с проблем внесения коррекций при обработке партий деталей на станках-автоматах и автоматических линиях в массовом и крупносерийном производстве к проблемам управления станками с ЧПУ (или в широком толковании – технологическим мехатронным оборудованием) при мелкосерийном и единичном производстве.

Компьютеризация технологического оборудования создала возможность использования современных достижений в области искусственного интеллекта для управления оборудованием. В статье рассматривается методология управления точностью обработки, сформированная на основе применения интеллектуальных систем управления.

Постановка задачи. Под точностью обработки понимается степень приближения действительных значений геометрических параметров деталей к заданным величинам. Точность характеризуется погрешностью, которая определяется разностью между действительным и заданным или расчетным значениями параметра.

Погрешности размеров и формы являются основными характеристиками геометрической точности деталей. Они оказывают существенное влияние на сборку и правильное функционирование машин и приборов. Отклонения от правильной геометрической формы вызывают неравномерность зазоров и натягов в соединениях. Это приводит, в свою очередь, к повышенному и неравномерному износу деталей и снижению точности работы в подвижных соединениях, искаже-

нию характера посадки и неравномерному распределению напряжений в посадках с натягом и т.п. [1].

Классификация погрешностей, возникающих при обработке на станках с ЧПУ, выполнена по следующим характерным признакам [2]:

– виды погрешностей детали;
– источник возникновения погрешностей;
– причины, порождающие погрешности обработки;
– характер погрешностей;
– период возникновения;
– длительность действия.

Доказано, что в процессе обработки, и в основном через этот процесс, источники образования погрешностей (факторы) находятся в сложной совокупности динамических взаимосвязей [2].

Совокупность основных возмущающих факторов, влияющих на погрешность обработки, образует вектор возмущений, к этим факторам относятся геометрические и кинематические погрешности станка, колебания припуска на обработку, нестабильность твердости обрабатываемого материала заготовки, износ инструмента, нестабильность процесса резания по вектору усилия резания и тепловыделениям, нестабильность процессов трения в передачах, направляющих и опорах, переменная жесткость технологической системы станка (ТСС), колебания параметров силового питания, помехи в системе управления и преобразования информации, погрешности датчиков и внешние воздействия.

Как показывают экспериментальные исследования, погрешности контурной обработки и позиционирования представляют собой нестационарные функции, в ряде случаев с негауссовскими законами распределения [3]. Достоверное установление закона распределения само по себе представляет непростую задачу. Вид закона распределения погрешностей различен не только для станков разных типов, но и отдельных станков одной модели. Более того, он изменяется и на одном станке в зависимости, например, от длины перемещения.

Программное управление станками не предусматривает автоматическую компенсацию погрешностей обработки от различных факторов. Соответствующие коррекции, а также первоначальная настройка станка с ЧПУ на заданный размер осуществляется оператором по результатам измерений традиционными средствами, что препятствует осуществлению полностью автоматизированного процесса управления точностью при обработке на станках с ЧПУ. Общий недостаток подобных систем состоит в том, что программы измерений и преобразования результатов измерений в сигналы коррекции закладываются в структуру устройства ЧПУ. Они не изменяются при переходе от одной обрабатываемой детали к другим, имеющим различные требования к точности обработки, а также при переходе от обработки единичных деталей к серийной работе [4].

Современные тенденции развития станкостроения делают задачу обеспечения автоматического управления точностью на станках с ЧПУ особенно актуальной, так как создается возможность использования наиболее эффективных интеллектуальных систем управления (ИСУ) и алгоритмов. На этих станках не требуются специальные исполнительные устройства, так как сигналы коррекции от ИСУ могут быть введены непосредственно в управляющую программу. При этом в качестве измерительной системы используют возможности самого станка, в том числе его датчики обратной связи. Функционирование ИСУ включает процедуры выбора оптимальной последовательности операций управления для конкретного станка. ИСУ может с достаточной полнотой учитывать возможности станка и его системы ЧПУ, что позволит в полном объеме осуществлять автоматическое управление точностью обработки.

Погрешности обработки. Управление точностью можно осуществлять по любому из признаков геометрических параметров или их комбинации. Примером может служить показатель точности формы детали в ее поперечном сечении, в качестве которого принимают наибольшее отклонение

реального профиля от прилегающей геометрической линии, заданной чертежом (для деталей цилиндрической формы это окружность).

Погрешности формы во многих случаях оказываются соизмеримыми с отклонениями размеров [4, 5]. Это обстоятельство делает целесообразным рассмотрение погрешностей обработки цилиндрической детали как отклонений текущего размера $r(\varphi, x)$ от радиуса r_0=const цилиндра, не имеющего отклонений геометрических параметров,

$$\Delta r(\varphi, x) = r_0 - r(\varphi, x),$$

где φ – угловая координата (полярный угол); x – координата, направленная вдоль оси цилиндра.

Вероятностной моделью отклонений текущего размера $r(\varphi, x)$ от идеального цилиндра с радиусом r_0 является случайное двухразмерное поле неровностей поверхности обработанных деталей (случайная функция двух независимых координат x и φ). Поверхность каждой отдельной (цилиндрической) детали можно рассматривать как двухразмерную реализацию указанного поля.

Для того чтобы изготовленная деталь удовлетворяла заданным требованиям по точности, значения текущего радиуса должны оставаться внутри объема, ограниченного цилиндрическими поверхностями минимального и максимального допускаемых радиусов. Вероятность этого при устойчивом законе распределения неровностей связана с дисперсией неровностей и их математическим ожиданием.

Поэтому основная цель управления точностью обработки в большинстве случаев состоит в уменьшении дисперсии неровностей детали. При этом используются результаты прямого или косвенного измерения значений факторов, порождающих неровности поверхности.

Формирование критериев точности формы и размера возможно на основе использования показателя отклонения текущего размера. Определим отклонения текущего размера поверхности для детали

$$\Delta r(\varphi, x) = \tilde{r}(\varphi, x) + \acute{r}(\varphi, x), \qquad (1)$$

где $\tilde{r}(\varphi, x)$ – низкочастотная составляющая неровностей поверхности детали; $\acute{r}(\varphi, x)$ – отклонения неровностей от низкочастотной составляющей.

Обычно при аппроксимации ограничиваются первыми двумя гармониками [6]. При этом отклонения $\acute{r}(\varphi, x)$ от аппроксимирующего полинома можно рассматривать как реализацию однородного случайного поля со средним значением $M\{\acute{r}(\varphi, x)\}$ равным нулю и выборочной дисперсией, которую обозначим через $\sigma_{\acute{r}}^2$.

Среднее по множеству значений неровностей поверхности, исходя из (1), может быть приведено к виду:

$$M\{\Delta r(\varphi, x)\} \approx \tilde{r}(\varphi, x).$$

Средний квадрат отклонений текущего размера:

$$\sigma_{\Delta r}{}^2 = \sigma_{\tilde{r}}^2 + [M\{\Delta r(\varphi, x)\}]^2 + \sigma_{\acute{r}}^2. \qquad (2)$$

Выражение (2) в общем виде характеризует точность конкретной поверхности детали.

Будем считать, что совокупность возмущающих факторов порождает входные переменные. Перечень входных переменных должен быть практически целесообразным, т. е. включать важнейшие факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на точность обработки [5]. Это требование вытекает из того, что при моделировании необходимо абстрагироваться от влияния несущественных факторов, модель должна быть простой и наглядной. Факторы, характеризующие погрешности обработанной детали, определяют выходные переменные технологического процесса.

В связи со стохастической природой входных и выходных переменных они рассматриваются как случайные величины или случайные функции. При построении статической модели процесса обычно ограничиваются рассмотрением входных и выходных переменных как случайных величин, а при построении динамической модели – как случайных функций. Если одну из выходных переменных обозначить через Y, принимая ее как случайную величину, а входные переменные,

которые также являются случайными величинами, обозначить через $X_1, X_2, ..., X_n$, то уравнение связи для статической модели

$$Y = f(X_1, X_2, ..., X_n)$$

дает возможность определить Y в зависимости от фиксированных значений $X_1, X_2, ..., X_n$.

Для динамической модели входная и выходная переменные рассматриваются как случайные функции, которые обозначим $Y(t)$ – выходная случайная функция, а $X_1(s), X_2(s), ..., X_n(s)$ – входные случайные функции. Тогда уравнение связи для динамической модели имеет вид

$$Y(t) = F(X_1(s), X_2(s), ..., X_n(s)),\ s \in S,$$

т.е. в этом случае устанавливается связь выходной переменной для любого значения аргумента со значениями входных переменных для всей области S их изменения.

Очевидно, что статическую модель можно рассматривать как частный случай динамической модели при фиксированных значениях аргументов t и S_0. В связи с тем, что при построении стохастической модели практически не представляется возможным учесть все факторы, влияющие на выходную переменную, уравнения связи для Y и $Y(t)$ вероятностные, а не детерминированные, т. е. считается, что эти соотношения устанавливаются для числовых характеристик или законов распределения Y или $Y(t)$.

Соответствие между входными $X(s)$ и выходной $Y(t)$ функциями, устанавливаемое оператором A_t, может быть записано сокращенно

$$Y(t) = A_t X(s). \quad (3)$$

Под построением динамической модели технологического процесса понимают нахождение оператора, ставящего в соответствие входную $X(s)$ и выходную $Y(t)$ функции ТСС. При этом существенно, что при идентификации оператор A_t ТСС в формуле (3) можно найти по результатам измерений $X(s)$ и $Y(t)$, полученным в процессе нормального функционирования. Результаты измерений $X^*(s)$ и $Y^*(t)$ рассматриваются как реализация случайных функций $X(s)$ и $Y(t)$. По реализациям $X^*(s)$ и $Y^*(t)$ ставится задача определения не самого оператора A_t, а его оценки A^*_t, которая и используется в качестве характеристики неизвестного истинного оператора A_t.

Оператор A^*_t устанавливает связь между входом $X^*(s)$ и выходом $Y^*(s)$ модели:

$$Y^*(t) = A^*_t X^*(s). \quad (4)$$

Очевидно, что при построении модели, т. е. при определении A^*, естественно потребовать близости A^*_t к истинному оператору A_t, чтобы выход модели $Y^*(t)$ был близок к выходу объекта технологического преобразования $Y(t)$.

При обработке деталей динамические характеристики изменяются в связи с изменениями условий ведения процесса, износом станков и оснастки, нагревом, изменениями жесткости, внешней среды и т. д. Решение задач управления точностью на базе динамических моделей может принести максимальную пользу в случае, когда получение и обработка информации, необходимой для построения модели, а также решение задач на базе построенной модели будут осуществляться оперативно.

Подход к управлению точностью обработки. При управлении точностью используются результаты прямого или косвенного измерения значений факторов, порождающих погрешности обработки поверхности. Поэтому можно говорить о том, что в статистическом смысле задача управления точностью обработки сводится к задаче перехода от наблюдаемого распределения погрешностей при отсутствии управления $Y^*(t)$ к их условному распределению при выбранном управлении $Y_c(t)$:

$$Y_c(t)=A_{ct} X^*(s),\ \{Y_c(t) \le Y_{доп}\}, \quad (5)$$

где A_{ct} – оператор преобразования, получаемый при управлении точностью; $Y_{доп}$ – погрешность, определяемая допустимыми отклонениями размеров и формы обрабатываемой поверхности по техническим условиям.

При этом дисперсия $Y_c(t)$ остаточных погрешностей (неровностей поверхности) в зависимости (5) определяет достижимую в результате управления точность обработки.

Для оценки качества управления по набору реализаций случайного процесса, называемого ансамблем, целесообразно определить следующие коэффициенты:

– коэффициент точности процесса обработки как отношения поля допуска к размаху варьирования для наблюдаемого размера;

– коэффициент настройки процесса как отношения величины смещения центра настройки от среднего значения наблюдаемого размера к полю допуска, определяемого обычно в процентах.

При первичном обучении ИСУ и накоплении опыта целесообразно руководствоваться известными методиками и стандартами, в том числе [7 – 9]. В типовой ситуации, которая при этом возникает, количество экспериментальных данных ограничено и могут приниматься допущения, в том числе, что корреляция между отдельными составляющими погрешностей отсутствует, функции распределения переменных влияющих факторов принимаются нормальными.

Индивидуальная система знаний станка. Построение ИСУ станком основывается на следующих базовых концептуальных положениях.

Для информационной и интеллектуальной поддержки управления технологическим процессом обработки и сопровождения в жизненном цикле металлорежущие станки наделяются системой знаний (СЗ) о своих особенностях, в том числе индивидуальных преимуществах и недостатках, отличающих конкретный станок от ему подобных. Иначе, каждый станок имеет отличия от станков других типоразмеров и станков того же типоразмера по действительной геометрической точности, жесткости, динамическим характеристикам и пр.

СЗ станка в виде интеллектуального узла создается для планирования и программирования процесса обработки. Планирование предполагает обеспечение экономически эффективной обработки при условии удовлетворения конструкторских требований к точности детали, которое основывается на использовании технологии искусственного интеллекта в формировании предложенного метода – Generalized Knowledge Mining for Technological System (GKM TS) – «обнаружение обобщенных знаний для технологической системы» [10].

Подход предусматривает создание для каждой единицы технологического оборудования интеллектуального электронного документа (паспорта). Это дает возможность использования СЗ, формализуемой в разработанной документации, и интеграции электронного паспорта в информационную инфраструктуру станка и технологической системы предприятия. Таким путем создается информационное и интеллектуальное обеспечение для управления процессом обработки на станке, накопления и обмена информацией на всех стадиях жизненного цикла, включая обслуживание, ремонт.

Следующие положения стали отправными в формировании предложенного инновационного подхода.

Стохастичность протекания самого технологического процесса обработки, изменения погрешности исходных и текущих положений рабочих органов и инструмента, состояния заготовки и режущей части инструмента, отсутствие возможности получения достаточно точной информации о положении вершины инструмента относительно заготовки вносят неопределенность, существенно затрудняя моделирование с помощью известных математических выражений. При этом существует большое количество переменных и параметров, а измерение отдельных переменных и определение их влияния на погрешности обработки поверхностей аналитическими методами сильно затруднено или недостижимо.

Применение методов и алгоритмов интеллектуального управления станком позволяет сформировать оценки складывающейся ситуации, в том числе состояния системы и достигаемых параметров качества изготавливаемой детали, а также сделать правильный выбор из вариантов управлений [10]. Это открывает возможности современного подхода к проблеме обеспечения

точности обработки на основе динамической самообучаемости и приспособляемости системы управления станка к реальным условиям.

Электронный интеллектуальный паспорт (ЭИП) состоит из двух частей:

– базовая часть содержит основную техническую информацию о станке;

– интеллектуальная надстройка включает собственную СЗ с соответствующими базой данных (БД) и базой знаний (БЗ), интерфейсы связей с УЧПУ и оператором. Связи между СЗ и УЧПУ станка предусматривают возможность использования принимаемых ИСУ решений для составления или коррекции управляющей программы, а также пополнения БД и БЗ паспорта.

Базовая техническая информация содержит регистрационные документы, совокупность руководств по эксплуатации станка, протоколы приемо-сдаточных испытаний и освидетельствования на заводе, эксплуатирующем станки. В результате этих испытаний ряд индивидуальных параметров ТСС, необходимых для автоматического управления точностью обработки, становится априорно известным. Они составляют наследуемую часть информационного обеспечения, к ним относятся данные об отклонениях от плоскостности столов, непараллельности перемещения суппортов относительно оси шпинделя, отклонениях от взаимной перпендикулярности направлений перемещений рабочих органов и пр.

Регламентированная часть наследуемой информации загружается в БД второй части ЭИП, в его СЗ.

Множество факторов, или наблюдаемых входных воздействий $X^*(t)$, влияющих на общую погрешность $Y^*(t)$ из (3), (4), в зависимости от возможности получения знаний о них может быть представлено в виде совокупности из «наследуемого» множества *H* и «оперативного» множества *O:*

$$\begin{cases} X^* = (X^*_h, X^*_o); \\ X^*_h = (x^h_1, x^h_2, \ldots, x^h_m); \\ X^*_o = (x^o_1, x^o_2, \ldots, x^o_n). \end{cases} \qquad (6)$$

Наследуемое множество X^*_h – совокупность m факторов, знания о которых получают при приемо-сдаточных или тестовых измерениях, а совокупность n факторов, измеряемых непосредственно в процессе обработки, отнесена к оперативному множеству X^*_o. Одна из причин такого деления факторов заключается в ограниченной возможности получения оперативной информации от средств контроля непосредственно в процессе обработки детали. К оперативным факторам относятся, например, ошибки перемещений, погрешность наименьших номинальных перемещений рабочего органа при последовательных дискретных перемещениях, погрешности привода, изменяемые при рабочем ходе во время обработки и др.

В собственную СЗ станка кроме БЗ по факторам погрешностей входят совокупности правил принятия решений по различным ситуациям в обработке, видам обработки и требуемым параметрам точности готовой детали. Оценка ситуации и принятие решений выполняется многоуровневой ИСУ [2, 11]. Программа синтеза решений по количеству и параметрам проходов определяется, исходя из наследуемых и оперативных данных и знаний. К функциям этой системы управления относят прогнозирование точности обработки, принятие решений и программы действий и накопление знаний.

Формирование обобщенных знаний. Предлагаемый подход предусматривает, что оценки ситуаций и принятие решений в ИСУ станком производится на базе формируемых обобщенных знаний. Решения, соответствующие требованиям точности обработки, принимаются ИСУ станка при использовании обобщенных знаний, синтезируемых в БЗ на основе наследуемой информации из имеющейся совокупности X^*_h в БД и оперативной информации из совокупности X^*_o. Для синтеза обобщенных знаний используются возможности технологии data mining как интеллектуальной системы поддержки принятия решений, осуществляющей поиск функциональных и логических закономерностей в накопленных данных, построение моделей и ассоциативных правил выводов. Найденные правила описывают зависимости между входными и выходными факторами (результи-

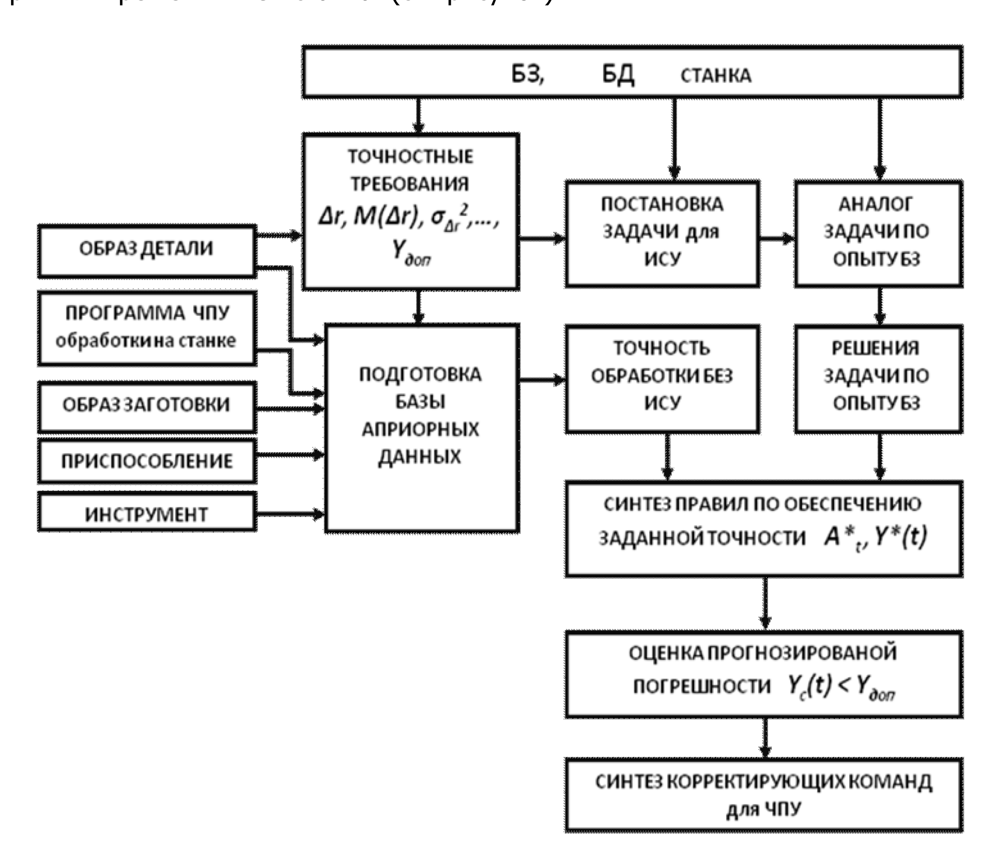
рующими погрешностями обработки) и могут быть использованы для предсказания появления погрешностей, сравнения их с допустимыми отклонениями (5).

Инструментарий data mining представляет возможности для формирования нового обобщенного подхода GKM TS к построению ИСУ технологическими объектами – интерпретации практически полезных и доступных данных в производственных условиях о состоянии элементов станочной системы и формировании целостной СЗ, необходимых для управления процессами.

В программу испытаний и обработки данных измерений включаются процедуры обнаружения знаний о влиянии совокупного многообразия факторов X^* на результирующие погрешности обработки детали Y с помощью технологии data mining и обучения ИСУ конкретного станка.

На основании совокупности примеров входных и выходных данных удается получить некоторую совокупность функций, которая аппроксимирует корреляцию между входными воздействиями и результирующей погрешностью, обеспечивая формирование БЗ в ИСУ станка. Кроме этого определяются оценочные характеристики влияния каждого фактора множеств X^*_h и X^*_o. Совокупный учет факторов с помощью системы нечетких отношений, которые установлены методом data mining, создает возможность отображения и прогнозирования точности обработки.

На основе описанных концептуальных положений сформирована и реализована структура системы принятия решений ИСУ станка (см. рисунок).



Структура системы принятия решений

Образ детали – цифровое представление изготавливаемой детали, включающее технические требования к ней.

Образ заготовки – цифровое представление состояния заготовки перед операцией обработки на станке с ИСУ.

Приспособление – погрешности базирования и закрепления приспособления на станке и заготовки/инструмента в приспособлении.

Инструмент – погрешности, связанные с геометрией инструмента и его установкой.

Точностные требования – постановка задач по обработке поверхностей (точность размеров и формы поверхностей) или выполнению функций (точность глубины отверстий, точность сопрягаемых поверхностей и углов, взаимная точность расположения отверстий, точность обработки глубоких отверстий, точность поверхностей при врезании и выходе инструмента и т. д.), находящихся на пределе или превышающих индивидуальные возможности станка (без ИСУ) по точности, т. е. лимитирующих.

База априорных данных – сведения по компонентам станочной технологической системы и наследуемой индивидуальной информации о самом станке, необходимые для принятия решений.

Постановка задачи для *ИСУ* – задачи выбора лимитирующего перехода или последовательности лимитирующих переходов; выборка из БД множества значений наследуемых факторов для характерной задачи или аналога.

Синтез правил по обеспечению заданной точности – принятие решений на основе наследуемой X^*_h, оперативной информации X^*_o, обобщенного подхода GKM и прогноза по возможности достижения условия $Y_c(t)<Y_{доп}$.

Заключение. В основных положениях концептуального подхода представлена методология использования возможностей искусственного интеллекта для управления металлорежущими станками с целью достижения высокой точности обработки деталей. Управление строится на основе разработанной структуры многоуровневой интеллектуальной системы и методе обобщенного анализа составляющих погрешностей обработки, выделения наследуемых и оперативных факторов.

Интеллектуальное электронное документирование металлорежущего станка создает возможность непосредственного внесения коррекций в УЧПУ за счет информационной и интеллектуальной поддержки на базе собственной системы знаний о состоянии элементов станочной системы.

Библиографический список

1. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.

2. Тугенгольд А.К. Интеллектуальное управление мехатронными технологическими системами / А.К. Тугенгольд, Е.А. Лукьянов. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. – 117 с.

3. Ратмиров В.А. Управление станками гибких производственных систем / В.А. Ратмиров. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.

4. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью металлообработки / М.С. Невельсон. – Л.: Машиностроение, 1973. – 176 с.

5. Точность производства в машиностроении и приборостроении / под ред. А.Н. Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1973. – 567 с.

6. Дунин-Барковский И.В. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении / И.В. Дунин-Барковский, А.Н. Журавлев, В.П. Коротков. – М.: Машиностроение, 1972. – 615 с.

7. МИ 2232-2000. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации.

8. ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерения.

9. МИ 1317-2004 ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Нормы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.

10. Тугенгольд А.К. Оценка ситуации и принятие решений интеллектуальной системой управления технологическим объектом / А.К. Тугенгольд // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 10, №6. – С. 860–867.

11. Интеллектуальные системы в управлении производственными и технологическими процессами / А.К. Тугенгольд, И.В. Богуславский, Е.А. Лукьянов [и др.]; под ред. А.К. Тугенгольда. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 182 с.

Материал поступил в редакцию 06.09.11.

References

1. Reshetov D.N. Tochnost` metallorezhushhix stankov / D.N. Reshetov, V.T. Portman. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 336 s. – In Russian.

2. Tugengol`d A.K. Intellektual`noe upravlenie mexatronny`mi texnologicheskimi sistemami / A.K. Tugengol`d, E.A. Luk`yanov. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2004. – 117 s. – In Russian.

3. Ratmirov V.A. Upravlenie stankami gibkix proizvodstvenny`x sistem / V.A. Ratmirov. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 272 s. – In Russian.

4. Nevel`son M.S. Avtomaticheskoe upravlenie tochnost`yu metalloobrabotki / M.S. Nevel`son. – L.: Mashinostroenie, 1973. – 176 s. – In Russian.

5. Tochnost` proizvodstva v mashinostroenii i priborostroenii / pod red. A.N. Gavrilova. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 567 s. – In Russian.

6. Dunin-Barkovskij I.V. Vzaimozamenyaemost` i texnicheskie izmereniya v mashinostroenii / I.V. Dunin-Barkovskij, A.N. Zhuravlyov, V.P. Korotkov. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 615 s. – In Russian.

7. MI 2232-2000. Obespechenie e`ffektivnosti izmerenij pri upravlenii texnologicheskimi processami. Ocenivanie pogreshnosti izmerenij pri ogranichennoj isxodnoj informacii. – In Russian.

8. GOST 8.009-84. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij. Normiruemy`e metrologicheskie xarakteristiki sredstv izmereniya. – In Russian.

9. MI 1317-2004 GSI. Rezul`taty` i xarakteristiki pogreshnosti izmerenij. Normy` predstavleniya. Sposoby` ispol`zovaniya pri ispy`taniyax obrazczov produkcii i kontrole ix parametrov. – In Russian.

10. Tugengol`d A.K. Ocenka situacii i prinyatie reshenij intellektual`noj sistemoj upravleniya texnologicheskim ob``ektom / A.K. Tugengol`d // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2010. – T. 10, #6. – S. 860–867. – In Russian.

11. Intellektual`ny`e sistemy` v upravlenii proizvodstvenny`mi i texnologicheskimi processami / A.K. Tugengol`d, I.V. Boguslavskij, E.A. Luk`yanov [i dr.]; pod red. A.K. Tugengol`da. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2010. – 182 s. – In Russian.

PROCESSING ACCURACY CONTROL USING CAPABILITIES OF MACHINE TOOL KNOWLEDGE SYSTEM

A.K. TUGENGOLD
(Don State Technical University)

The strategic approach to the development of the intellectual control systems of the machine tool accuracy as mechatronic technological systems is presented. It is based on the present-day ideas in the field of the error formation, processing accuracy control with the use of GKM capabilities and electronic manufacturing facilities documentation.
Keywords: *working accuracy, intellectual control, knowledge system of machine tool, general knowledge of technological system.*

УДК 621.924.6:621.833

ЗАТЫЛОВАНИЕ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ПРОФИЛЕМ В НОРМАЛЬНОМ СЕЧЕНИИ

А.А. РЫЖКИН, В.В. ЗОТОВ, Д.В. МОИСЕЕВ
(Донской государственный технический университет)

Определяются уравнения затылованных поверхностей червячной фрезы на основе полученных ранее зависимостей координат профиля эллиптического зуба колеса и уравнения профиля червячной фрезы.
Ключевые слова: *зубчатые колеса, эллиптический профиль, червячные фрезы, инструментальная рейка.*

Введение. Данная работа – продолжение теоретических исследований по определению профиля инструментальной рейки червячной фрезы, обрабатывающей зубчатые колеса с эллиптическим профилем зуба [1 – 2], был найден профиль рейки и обоснованы конструктивные элементы червячной фрезы [3].

Для разработки конструкции фрезы необходимо решить вопросы затылования:

- найти уравнение затылованных поверхностей для правой и левой стороны зуба;
- найти осевые и нормальные сечения этих поверхностей;
- определить профильные углы затылованных инструментов и шаги затылованных поверхностей;
- отработать схему затылования спрофилированным шлифовальным кругом.

Затылование фрезы. Определение профильного угла η и $S_б$. Примем, что зуб фрезы в осевом сечении очерчен плоскими кривыми [3], и поэтому затылованная поверхность будет нелинейчатой. В этой связи возникают проблемы с затылованием, так как возможно только радиальное затылование с профилем затылованного резца, который предстоит определить для этого тела фрезы.

Была использована методика Г.Г. Иноземцева для определения профильного угла резца η и шага затылованной поверхности, суть которой состоит в том, что условно реальный профиль заменяется прямолинейным (рис. 1). Этот угол необходим для определения начала затылованной поверхности $S_{бп}$ и $S_{бл}$.

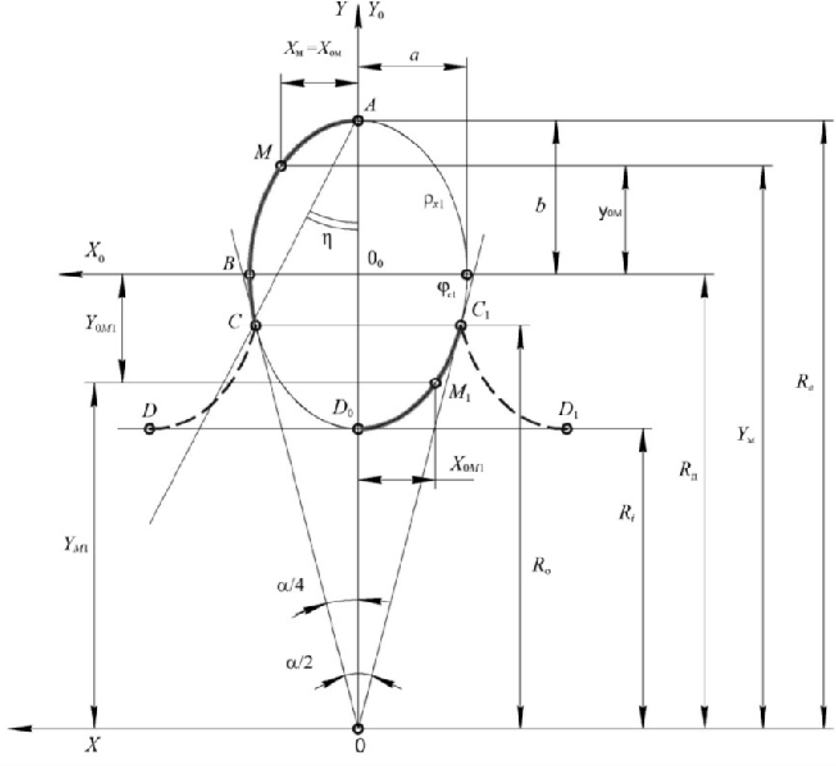


Рис. 1. Замена реального профиля на прямолинейный

Проведем прямую, соединив точки A и C. На профиле зуба (левая сторона основного червяка):

$$\begin{cases} x = \left(R_д + b\cos\beta\cos\varphi_x\sqrt{\frac{1}{\sin^2\varphi_x+\cos^2\varphi_x\cos^2\beta}}\right)\text{tg}\varepsilon_x, \\ y = R_д + b\cos\beta\cos\varphi_x\sqrt{\frac{1}{\sin^2\varphi_x+\cos^2\varphi_x\cos^2\beta}}, \\ 0 \le \varepsilon_x \le \frac{\alpha}{4}\ ;\ 0 \le \varphi \le 180° - \text{arctg}\frac{R_0\sin{}^{\alpha}/_4}{R_д - R_0\cos{}^{\alpha}/_4}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{tg}\,\eta = \frac{x_c - x_a}{y_a - y_c}.$$

Координаты точки *A:*

$$\varepsilon_A = 0;\ \varphi_A = 0;\ x_A = 0,$$

$$y_A = R_д + b\cos\beta 1\sqrt{\frac{1}{0+1\cos^2\beta}} = R_д.$$

Координаты точки *C:*

$$\begin{cases} x_C = \left(R_д + b\cos\beta\cos\varphi_c\sqrt{\frac{1}{\sin^2\varphi_c+\cos^2\varphi_c\cos^2\beta}}\right)\text{tg}\frac{\alpha}{4}, \\ y_c = R_д + b\cos\beta\cos\varphi_c\sqrt{\frac{1}{\sin^2\varphi_c+\cos^2\varphi_c\cos^2\beta}}, \\ \varepsilon_c = \frac{\alpha}{4}\ ;\ \varphi = 180° - \text{arctg}\frac{R_0\sin{}^{\alpha}/_4}{R_д - R_0\cos{}^{\alpha}/_4}. \end{cases} \quad (2)$$

Из теории затылования червячных фрез (с прямолинейным профилем) известны следующие зависимости:

$$\begin{cases} S_{бп} = S \pm \frac{S+S_k}{S_k}kz\,\text{tg}\,\eta_{бп}, \\ S_{бл} = S \mp \frac{S+S_k}{S_k}kz\,\text{tg}\,\eta_{бл}, \end{cases} \quad (3)$$

где k – величина затылования, z – число витков (зубьев) фрезы

$$S = \pi D_д\,\text{tg}\,\tau_д;\ S_k = \pi D_д\,\text{tg}\,\omega = \pi D_д,$$

$K = \frac{\pi D_e}{z}\text{tg}\alpha_e\cos\tau_д$, где α_e – заборный угол на диаметре D_e.

$$\text{tg}\eta = \frac{x_c - x_a}{y_a - y_c} = \frac{\left(R_д + b\cos\beta\cos\varphi_c\sqrt{\frac{1}{\sin^2\varphi_c+\cos^2\varphi_c\cos^2\beta}}\right)\text{tg}\frac{\alpha}{4}}{-b\cos\beta\cos\varphi_c\sqrt{\frac{1}{\sin^2\varphi_c+\cos^2\varphi_c\cos^2\beta}}};$$

$$\text{tg}\eta = \left|\text{tg}\frac{\alpha}{4}\left(1 + \frac{R_д}{b\cos\beta\cos\varphi_c\sqrt{\frac{1}{\sin^2\varphi_c+\cos^2\varphi_c\cos^2\beta}}}\right)\right|. \quad (4)$$

Подставив выражения (4) в формулы (3), получим:

$$\begin{cases} S_{бп} = S + \frac{S+S_k}{S_k}kz\left(1 + \frac{R_д}{b\cos\beta\cos\varphi_c\sqrt{\frac{1}{\sin^2\varphi_c+\cos^2\varphi_c\cos^2\beta}}}\right), \\ S_{бл} = S - \frac{S+S_k}{S_k}kz\left(1 + \frac{R_д}{b\cos\beta\cos\varphi_c\sqrt{\frac{1}{\sin^2\varphi_c+\cos^2\varphi_c\cos^2\beta}}}\right), \\ \varphi_c = 180° - \text{arctg}\frac{R_0\sin{}^{\alpha}/_4}{R_д - R_0\cos{}^{\alpha}/_4}. \end{cases} \quad (5)$$

Примечания.

1. Полученный профиль зуба фрезы в виде некоторой плоской кривой (*ABCD*) заменен прямыми линиями с углами η_1 и η_2 (для выпуклой части и вогнутой части зуба), что является приближением, необходимым для определения $S_{бп}$ и $S_{бл}$ (5).

Такое приближение делает Г.Г. Иноземцев (значения углов для каждой точки криволинейного профиля *ABCD* будут свои).

2. Верхний знак в (3) – для правозаходных фрез, нижний – для левозаходных.

3. Затылование производится радиальными резцами с профильными углами $\eta_{бп}$ и $\eta_{бл}$ в осевом сечении.

Находим окончательные зависимости для определения необходимых соотношений для затылования.

Примем затылование шлифовальным кругом. Разместим круг в выступе между зубьями так, чтобы его профиль касался профиля боковой стороны, а угол установки круга был равен $\tau_д$ (рис. 2). Профиль осевого сечения круга совпадет с нормальной плоскостью к витку червяка.

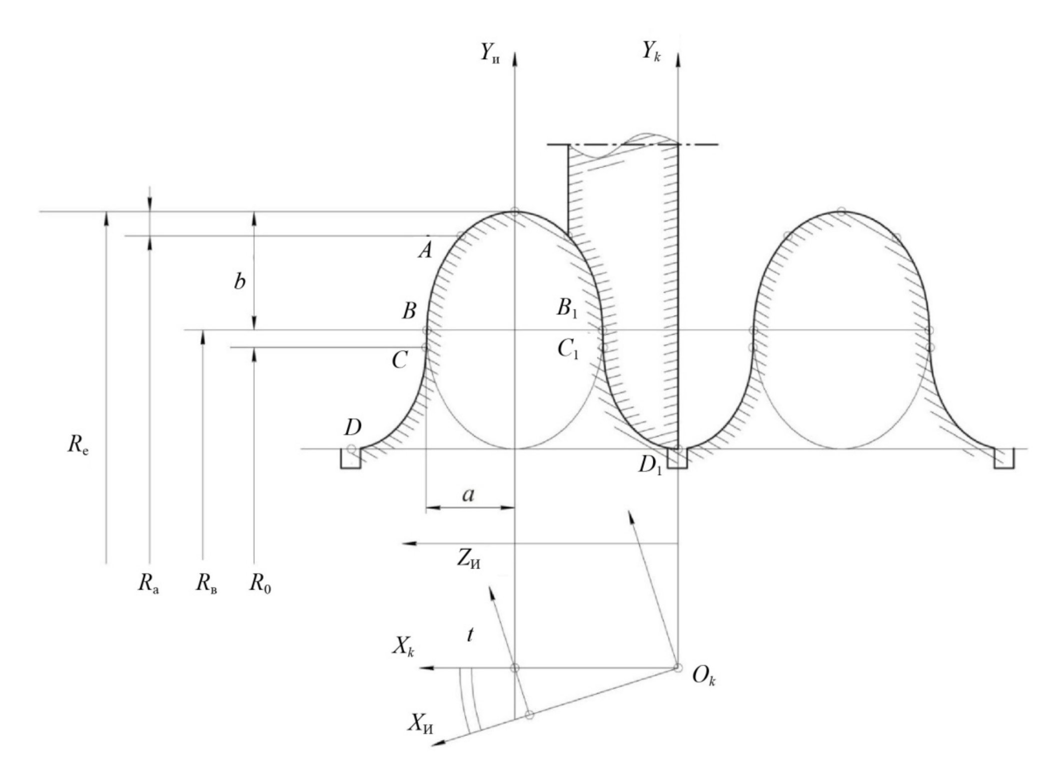


Рис. 2. Определение профиля шлифовального круга (по Г.Г. Иноземцеву)

Определим параметры затылования в следующей последовательности:

1. Проводим плоскости, рассекающие круг и зуб фрезы в направлении, перпендикулярном оси круга. Сечением круга будет окружность, а сечение боковой стороны зуба – некоторая плоская кривая.

2. Решение уравнения окружности сечения шлифовального круга совместно с линией сечения основного червяка торцевой плоскости дает точку их касания.

3. Геометрическое место точек касания шлифовального круга и зуба фрезы дает линию контакта (характеристику – по определению Г.Г. Иноземцева).

4. Вращая полученную характеристику относительно оси круга, получаем необходимую поверхность и профиль круга.

Уравнения боковых затылованных поверхностей фрезы в системе координат круга. Круг расположен в системе координат $X_k O_k Y_k$, а расстояние между этой системой и системой фрезы $X_и O_и Y_и$ равно половине нормального шага червяка $t_н$ (рис. 3). Тогда плоскость $X_k O_k Y_k$ совмещена с нормальной плоскостью к веткам червяка. Проекция оси вращения шлифовального круга на горизонтальную плоскость *XOZ* с осью червяка составит угол $\tau_д$. Ось $O_k Z_k$ перпендикулярна плоскости $X_k O_k Y_k$.

Затылованная поверхность в координатной системе $X_и O_и Y_и$ рассчитана в [3]. Выразим эти зависимости во вспомогательной системе координат $x_k' y_k' z_k'$ с началом в точке O_k. Ось $O_k' X_k'$ совпадает с осью $O_k X_k$, ось $O_k' Y_k'$ – с осью $O_k Y_k$, а ось $O_k Z_k$ лежит в плоскости $X_k' O_k Y_k'$ (рис. 4).

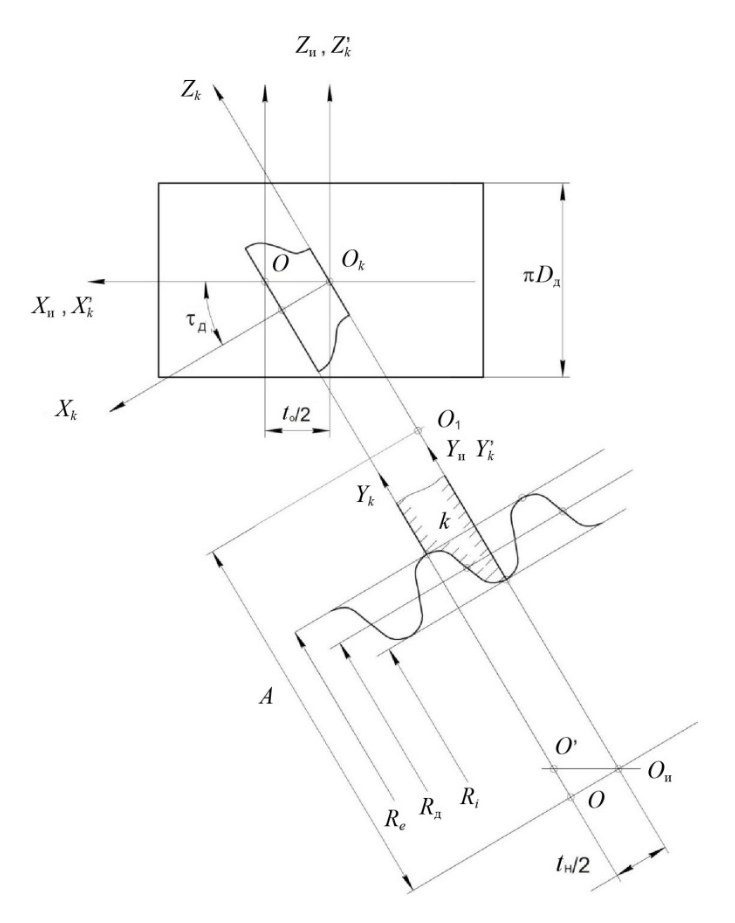


Рис. 3. Определение профиля шлифовального круга

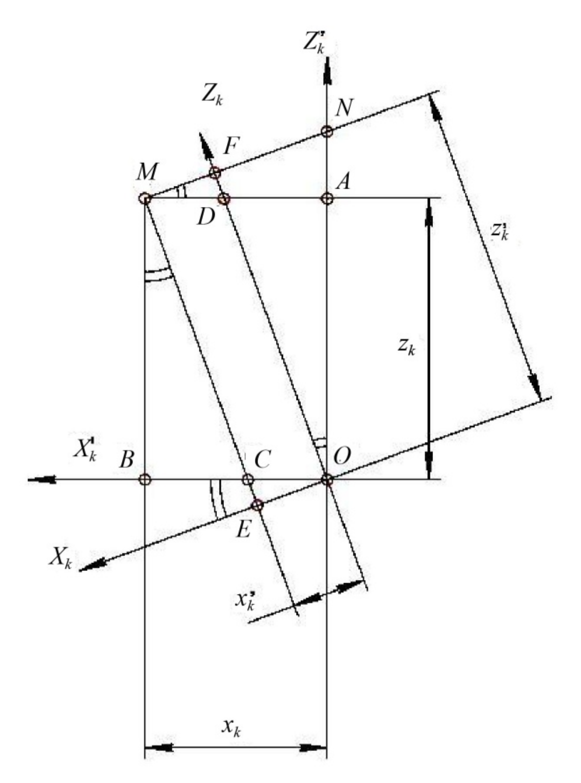


Рис. 4. Преобразование координат

Повернем систему координат $x_k^{'} y_k^{'} z_k^{'}$ вокруг оси $O_k Y_k$ на угол $\tau_д$. Тогда связь между системами координат выражается зависимостями:

$$\begin{cases} x_k = x_k^{'} \cos\tau_д - z_k^{'} \sin\tau_д, \\ y_k = y_k^{'}, \\ z_k = x_k^{'} \sin\tau_д + z_k^{'} \cos\tau_д. \end{cases} \tag{6}$$

Проверка формулы (6):

$$x_k = OE = OC\cos\tau_д = (OB - BC)\cos\tau_д = \left(x_k^{'} - z_k^{'}\,\mathrm{tg}\,\tau_д\right)\cos\tau_д = x_k^{'}\cos\tau_д - z_k^{'}\sin\tau_д,$$

$$z_k = OF = ON\cos\tau_д = (OA + AN)\cos\tau_д = \left(x_k'\,\mathrm{tg}\,\tau_д + z_k'\right)\cos\tau_д = x_k'\sin\tau_д + z_k'\cos\tau_д.$$

Уравнения затылованных поверхностей в координатной системе $x_k^{'} y_k^{'} z_k^{'}$ имеет вид:

Правая сторона

Выпуклая часть

$$\begin{cases} x_k' = \frac{S_{бп}}{2\pi}\theta - \frac{S_{бп}+S_k}{S+S_k}\left[\left(r_x \sin\varepsilon_x + \frac{t_н}{2}\right)\cos\tau_д\right], \\ y_k{}' = r_x\left[\cos\varepsilon_x \sin\theta + \sin\varepsilon_x \cos\theta \sin\tau_д\right], \\ z_k' = -r_x\left[\cos\varepsilon_x \sin\theta - \sin\varepsilon_x \cos\theta \sin\tau_д\right], \\ \theta = 2\pi\frac{r_x \sin\varepsilon_x \cos\tau_д}{S+S_k}. \end{cases} \tag{7}$$

Вогнутая часть

$$\begin{cases} x_k = \frac{S_{бп}}{2\pi}\theta - \frac{S_{бп}+S_k}{S+S_k}\left[\left(r_{x1}\sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varepsilon_{x1}\right) + \frac{t_н}{2}\right)\cos\tau_д\right], \\ y_k = r_{x1}\left[\cos\left(\frac{\alpha}{2} - \varepsilon_{x1}\right)\cos\theta - \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \varepsilon_{x1}\right)\sin\theta\sin\tau_д\right], \\ z_k = -r_{x1}\left[\cos\left(\frac{\alpha}{2} - \varepsilon_{x1}\right)\sin\theta + \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \varepsilon_{x1}\right)\cos\theta\sin\tau_д\right], \\ \theta = 2\pi\frac{r_{x1}\sin\varepsilon_x \cos\tau_\partial}{S+S_k}. \end{cases} \tag{8}$$

Левая сторона

Выпуклая часть

$$\begin{cases} x_k = \frac{S_{бп}}{2\pi}\theta + \frac{S_{бп}+S_k}{S+S_k}\left[\left(r_x \sin\varepsilon_x + \frac{t_н}{2}\right)\cos\tau_д\right], \\ y_k = r_x\left[\cos\varepsilon_x \sin\theta - \sin\varepsilon_x \cos\theta \sin\tau_д\right], \\ z_k = r_x\left[\cos\varepsilon_x \sin\theta - \sin\varepsilon_x \cos\theta \sin\tau_д\right], \\ \theta = -2\pi\frac{r_x \sin\varepsilon_x \cos\tau_д}{S+S_k}. \end{cases} \tag{9}$$

Вогнутая часть

$$\begin{cases} x_k = \frac{S_{бп}}{2\pi}\theta + \frac{S_{бп}+S_k}{S+S_k}\left[\left(r_{x1}\sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varepsilon_{x1}\right) + \frac{t_н}{2}\right)\cos\tau_д\right], \\ y_k = r_{x1}\left[\cos\left(\frac{\alpha}{2} - \varepsilon_{x1}\right)\cos\theta - \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varepsilon_{x1}\right)\sin\theta\sin\tau_д\right], \\ z_k = -r_{x1}\left[\cos\left(\frac{\alpha}{2} - \varepsilon_{x1}\right)\sin\theta + \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \varepsilon_{x1}\right)\cos\theta\sin\tau_д\right]\cos\tau_д, \\ \theta = -2\pi\frac{r_{x1}\sin\varepsilon_x \cos\tau_д}{S+S_k}. \end{cases} \tag{10}$$

Правая сторона

Выпуклая часть

$$\begin{cases} x_k = \left\{\frac{S_{бп}}{2\pi}\theta - \frac{S_{бп}+S_k}{S+S_k}\left[\left(r_x \sin\varepsilon_x + \frac{t_н}{2}\right)\cos\tau_д\right]\right\}\cos\tau_д + r_x\left[\cos\varepsilon_x \sin\theta - \sin\varepsilon_x \cos\theta \sin\tau_д\right]\sin\tau_д, \\ y_k = r_x\left[\cos\varepsilon_x \sin\theta + \sin\varepsilon_x \cos\theta \sin\tau_д\right], \\ z_k = \left\{\frac{S_{бп}}{2\pi}\theta - \frac{S_{бп}+S_k}{S+S_k}\left[\left(r_x \sin\varepsilon_x + \frac{t_н}{2}\right)\cos\tau_д\right]\right\}\sin\tau_д - r_x\left[\cos\varepsilon_x \sin\theta - \sin\varepsilon_x \cos\theta \sin\tau_д\right]\cos\tau_д, \\ \theta = 2\pi\frac{r_x \sin\varepsilon_x \cos\tau_д}{S+S_k}. \end{cases} \tag{11}$$

Вогнутая часть

$$\begin{cases} x_k = \left\{\frac{S_{бп}}{2\pi}\theta - \frac{S_{бп}+S_k}{S+S_k}\left[\left(r_{x1}\sin\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)+\frac{t_н}{2}\right)\cos\tau_д\right]\right\}\cos\tau_д + r_{x1}\left[\cos\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)\sin\theta - \sin\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)\cos\theta\sin\tau_д\right]\sin\tau_д, \\ y_k = r_{x1}\left[\cos\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)\cos\theta - \sin\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)\sin\theta\sin\tau_д\right], \\ z_k = -r_{x1}\left[\cos\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)\sin\theta + \sin\left(\frac{\alpha}{2}+\varepsilon_{x1}\right)\cos\theta\sin\tau_д\right]\cos\tau_д\,, \\ \theta = -2\pi\frac{r_{x1}\sin\varepsilon_x\cos\tau_д}{S+S_k}. \end{cases} \qquad (12)$$

Левая сторона

Выпуклая часть

$$\begin{cases} x_k = \left\{\frac{S_{бп}}{2\pi}\theta + \frac{S_{бп}+S_k}{S+S_k}\left[\left(r_x\sin\varepsilon_x+\frac{t_н}{2}\right)\cos\tau_д\right]\right\}\cos\tau_д - r_x\left[\cos\varepsilon_x\sin\theta - \sin\varepsilon_x\cos\theta\sin\tau_д\right]\sin\tau_д, \\ y_k = r_x\left[\cos\varepsilon_x\sin\theta - \sin\varepsilon_x\cos\theta\sin\tau_д\right], \\ z_k = \left\{\frac{S_{бп}}{2\pi}\theta - \frac{S_{бп}+S_k}{S+S_k}\left[\left(r_x\sin\varepsilon_x+\frac{t_н}{2}\right)\cos\tau_д\right]\right\}\sin\tau_д + r_x\left[\cos\varepsilon_x\sin\theta - \sin\varepsilon_x\cos\theta\sin\tau_д\right]\cos\tau_д, \\ \theta = -2\pi\frac{r_x\sin\varepsilon_x\cos\tau_д}{S+S_k}. \end{cases} \qquad (13)$$

Вогнутая часть

$$\begin{cases} x_k = \left\{\frac{S_{бп}}{2\pi}\theta + \frac{S_{бп}+S_k}{S+S_k}\left[\left(r_{x1}\sin\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)+\frac{t_н}{2}\right)\cos\tau_д\right]\right\}\cos\tau_д + r_{x1}\left[\cos\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)\sin\theta + \sin\left(\frac{\alpha}{2}+\varepsilon_{x1}\right)\cos\theta\sin\tau_д\right]\sin\tau_д, \\ y_k = r_{x1}\left[\cos\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)\cos\theta - \sin\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)\sin\theta\sin\tau_д\right], \\ z_k = \left\{\frac{S_{бп}}{2\pi}\theta + \frac{S_{бп}+S_k}{S+S_k}\left[\left(r_{x1}\sin\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)+\frac{t_н}{2}\right)\cos\tau_д\right]\right\}\sin\tau_д - r_{x1}\left[\cos\left(\frac{\alpha}{2}-\varepsilon_{x1}\right)\sin\theta + \sin\left(\frac{\alpha}{2}+\varepsilon_{x1}\right)\cos\theta\sin\tau_д\right]\cos\tau_д, \\ \theta = -2\pi\frac{r_{x1}\sin\varepsilon_x\cos\tau_д}{S+S_k}. \end{cases} \qquad (14)$$

Выводы. Разработана методика нахождения аналитических зависимостей для определения профиля боковых поверхностей червячной фрезы, что позволяет приступить к изготовлению данного типа фрез.

Библиографический список

1. Рыжкин А.А. Определение координат боковых сторон зубьев колес с эллиптическим профилем / А.А. Рыжкин [и др.] // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 9. – № 4. – С. 284–295.

2. Рыжкин А.А. К вопросу аналитической оценки профиля эллиптического зуба колеса / А.А. Рыжкин, Д.В. Моисеев // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 9. – № 4. – С. 172–186.

3. Рыжкин А.А. Определение профиля червячной фрезы для изготовления зубчатых колес эллиптического профиля / А.А. Рыжкин [и др.] // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 10. – № 5. – С. 731–734.

4. Иноземцев Г.Г. Профилирование червячных фрез для передач Новикова / Г.Г. Иноземцев, Е.П. Сергиенко. – Саратов: Приволж. книжное изд-во, 1968. – 143 с.

5. Грубин А.Н. Зуборезный инструмент / А.Н. Грубин, М.Б. Лихциер, М.С. Полоцкий. – М.: Машгиз, 1946. – Ч. II.

Материал поступил в редакцию 13.07.11.

References

1. Ry`zhkin A.A. Opredelenie koordinat bokovy`x storon zub`ev kolyos s e`llipticheskim profilem / A.A. Ry`zhkin [i dr.] // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2009. – T. 9. – # 4. – S. 284–295. – In Russian.

2. Ry`zhkin A.A. K voprosu analiticheskoj ocenki profilya e`llipticheskogo zuba kolesa / A.A. Ry`zhkin, D.V. Moiseev // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2009. – T. 9. – # 4. – S. 172–186. – In Russian.

3. Ry`zhkin A.A. Opredelenie profilya chervyachnoj frezy` dlya izgotovleniya zubchaty`x kolyos e`llipticheskogo profilya / A.A. Ry`zhkin [i dr.] // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2010. – T. 10. – # 5. – S. 731–734. – In Russian.

4. Inozemcev G.G. Profilirovanie chervyachny`x frez dlya peredach Novikova / G.G. Inozemcev, E.P. Sergienko. – Saratov: Privolzh. knizhnoe izd-vo, 1968. – 143 s. – In Russian.

5. Grubin A.N. Zuborezny`j instrument / A.N. Grubin, M.B. Lixcier, M.S. Poloczkij. – M.: Mashgiz, 1946. – Ch. II. – In Russian.

HOB BACKOFF FOR GEAR MACHINING WITH NORMAL ELLIPTIC PROFILE

A.A. RYZHKIN, V.V. ZOTOV, D.V. MOISEYEV
(Don State Technical University)

The equations of the hob relief, based on the earlier dependences of the section coordinates of the elliptic tooth-wheel profile, and the equations of the hob cutting profile are defined.
Keywords: *gear-wheel, elliptical section, hob cutters, profile of rack-type tool.*

УДК 621.7.669.017

НОВЫЕ АСПЕКТЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ В ПОРОШКОВЫХ СРЕДАХ

Ю.М. ДОМБРОВСКИЙ, М.С. СТЕПАНОВ
(Донской государственный технический университет)

На основе сравнительного анализа сделан вывод о перспективности процесса химико-термической обработки металлов в порошковых средах. Предложена новая схема ХТО в порошках каменного угля и кокса и экспериментально доказана ее эффективность в связи со значительным сокращением времени диффузионного насыщения при цементации.
Ключевые слова: *химико-термическая обработка металлов, микродуговые процессы в электропроводных порошках.*

Введение. Химико-термическая обработка (ХТО) – один из наиболее эффективных методов поверхностного упрочнения металлических изделий. Идея создания на их поверхности диффузионной зоны со специфическим химическим составом привлекает внимание специалистов, прежде всего, благодаря своей рациональности. Именно на поверхности изделий зарождаются трещины – предвестники разрушения, возникают максимальные напряжения как реакция на эксплуатационные нагрузки, наблюдаются явления интенсивного износа при трении о сопрягаемое изделие.

ХТО развивалась на протяжении XX в., претерпела изменения теоретических основ и технологических принципов, что нашло отражение в большом количестве работ разных научных школ [1 – 3].

Классическими стали методы диффузионного насыщения деталей машин и инструмента в газовых и твердых средах. Ставшие стандартными технологии цементации и азотирования дают стабильные результаты, однако обладают низкой производительностью и требуют высоких энергозатрат. Так, газовая цементация низкоуглеродистой стали на глубину 1,0–1,2 мм требует нагрева и выдержки при температуре 920–930 °С в течение 18–20 ч. Науглероживание в твердом карбюризаторе существенно не отличается от приведенных режимов.

Заметным шагом в направлении интенсификации процесса ХТО явилось применение расплавов солей. Так, жидкостное борирование и цианирование для достижения практически значимых результатов может продолжаться до нескольких часов.

Дальнейшие исследования показали эффективность электрического нагрева при ХТО, это касалось обработки в постоянных и высокочастотных электромагнитных полях. Особенно высокие показатели были достигнуты при нагреве токами высокой частоты изделий с поверхностным нанесением насыщающих паст. Продолжительность обработки в этом случае сократилась до десятков минут.

Весьма интересным направлением в развитии ХТО явилась идея электрохимико-термической обработки в электролитах, содержащих легирующий элемент. Ускорение процессов диффузионного насыщения объяснялось образованием микродуг в паровой рубашке, возникающей вокруг изделия, нагреваемого в электролите, за счет пропускания электрического тока. Наиболее фундаментальной работой в этом направлении является монография П.Н. Белкина, обобщившая опыт ХТО в электролитах, полученный на протяжении последних десятилетий, включая и оригинальные результаты автора [4].

Постановка задачи. Известно, что микродуги возникают не только при электролитном нагреве, но и пропускании электрического тока через электропроводную порошковую среду. Упоминается положительный опыт сотрудников кафедры «Металловедение и термическая обработка» Белорусского политехнического института в применении порошковых насыщающих сред для ХТО [3]. В такой схеме через порошковую среду – графит зернистостью 0,1–0,4 мм пропускали электриче-

ский ток, а обрабатываемое изделие и два электрода были погружены в эту среду и выполняли функции электрических полюсов. Вся эта система находилась в вакуумированном контейнере либо в среде инертного газа и подвергалась воздействию низкочастотных (15 Гц) механических колебаний. Утверждается, что при плотности тока $(2–4)\cdot10^{-5}$ А/м^2, установившейся температуре внутри контейнера 1223–1273 К и амплитуде колебаний 0,2 мм на образце из стали 20Х получали цементованный слой глубиной 0,6 мм за 15 мин, а 1,0 мм – за 35 мин. Эффект ускорения цементации объясняется переводом в атомарное состояние насыщающей среды под действием микродуг, возникающих в графите, что также способствует активации процесса адсорбции поверхностью образца атомов углерода.

Но предложенная схема белорусских коллег не лишена недостатков. В частности, вызывала сомнение целесообразность возбуждения механических колебаний, которые, как известно, являются одним из экологических факторов, вызывающих негативное воздействие на здоровье человека. Не находит объяснения и представляет собой очевидную ошибку приведенная низкая плотность тока на образце [3], которая не способна привести к нагреву, поскольку на порядки меньше допустимой плотности тока при расчете проводниковых материалов. Остается без логического объяснения необходимость вакуумировать или наполнять аргоном контейнер с графитом, электродами и обрабатываемым изделием при диффузионном насыщении атомарным углеродом. Сомнительна целесообразность помещения двух электродов, расположенных по обе стороны от обрабатываемого изделия, в контейнер. Очевидно, такое расположение электродов должно приводить к неравномерности глубины насыщения по периметру изделия и преимущественному насыщению тех его частей, которые обращены к электродам.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Авторами предложена схема ХТО, лишенная перечисленных недостатков. Она не предусматривает герметизации контейнера, его вакуумирования или заполнения аргоном, а также возбуждения механических колебаний контейнера и изделия. Кроме того, используется насыщающая среда, претерпевающая экзотермическую реакцию при нагреве и возгорании. В качестве такой среды выбран порошок каменного угля, который играет роль источника атомарного углерода, микродугообразующей среды и обладает значительным тепловым эффектом при горении. Кроме того, для локализации процесса насыщения заданного участка поверхности изделия схема обработки предусматривает минимальное соотношение площадей электродов и изделия (10:1), что позволяет на порядок увеличить плотность тока на участке обрабатываемой поверхности, подлежащей насыщению.

Приводятся методика и некоторые предварительные результаты экспериментальной апробации предложенного способа микродуговой ХТО.

Цементации подвергали цилиндрические образцы (диаметр 12 мм, длина 30 мм) из стали 20, которые закрепляли в державку и погружали на половину длины в порошок каменного угля зернистостью 0,3–0,5 мм. Порошок заполнял цилиндрический стальной контейнер диаметром 70 мм на высоту 100 мм. Источником тока служил тиристорный выпрямитель, собранный по мостовой схеме с возможностью плавного регулирования напряжения до 300 В. Источник подключали к державке образца и контакту на контейнере, замыкая, таким образом, цепь «образец – угольный порошок – контейнер». Напряжение регулировали с возрастанием от нулевой отметки.

При возрастании напряжения до 15–20 В в порошке угля сначала возникали беспорядочные микродуги, которые появлялись и исчезали по всей поверхности порошка в контейнере. При возрастании напряжения до 50 В примерно через 15–20 с микродуги концентрировались вокруг образца в зоне толщиной 4–6 мм (рис. 1).

При дальнейшей выдержке и прежнем напряжении микродуги исчезали, и на их месте появлялась зона нагрева шириной 5–6 мм вокруг образца (рис. 2). При этом становилось заметным горение угольного порошка с выделением газовой составляющей и характерным запахом печного

газа. Через 100 с выпрямитель выключали, и образец медленно остывал в том же состоянии в течение 5–6 мин, а затем извлекался из державки и охлаждался в проточной воде.



Рис. 1. Зона микродуг вокруг образца



Рис. 2. Зона горения угольного порошка

Наличие цементованного слоя контролировали методом микроструктурного анализа. С этой целью изготавливали поперечный микрошлиф, травили его реактивом Ржешотарского и наблюдали микроструктуру с помощью металлографических микроскопов МИМе7 и Neophote21.

На рис. 3 представлена микроструктура характерного участка по периметру образца. Видно, что при исходной ферритно-перлитной микроструктуре стали с преобладанием феррита поверхностный слой на глубину порядка 0,3 мм состоит из сорбитообразного перлита, что свидетельствует о насыщении поверхностного слоя образца углеродом до эвтектоидной концентрации. Более того, даже при использованном увеличении в поверхностных зонах слоя местами наблюдаются прожилки цементита в связи с возрастанием концентрации углерода выше эвтектоидной. Такое строение характерно для цементации в связи с наличием градиента концентрации углерода по глубине диффузионной зоны.

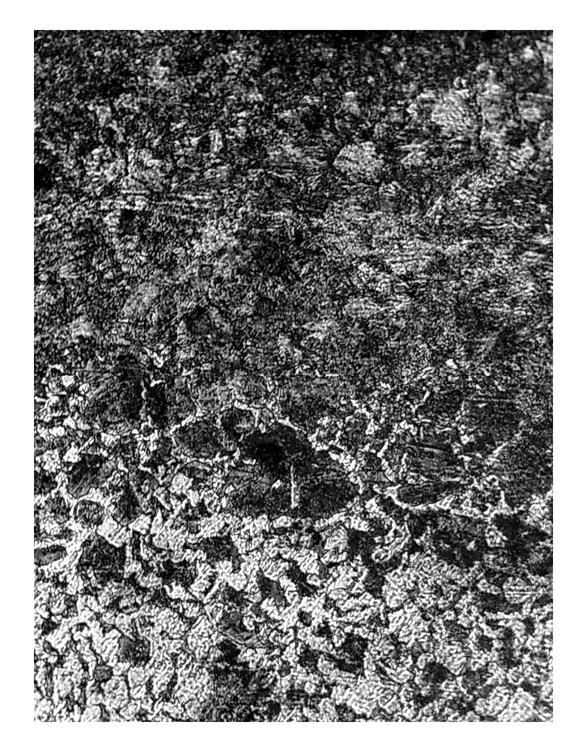


Рис. 3. Микроструктура поверхностного слоя стали 20
после микродуговой цементации

Аналогичные результаты были получены при обработке в порошке кокса, причем последний показал себя более предпочтительным материалом, поскольку процесс его горения сопровождался выделением значительно меньшего количества печных газов по сравнению с каменным углем.

При проведении экспериментов была также обнаружена еще одна особенность процесса микродуговой ХТО: для получения равномерной глубины цементованного слоя требуется располагать упрочняемую поверхность эквидистантно относительно стенок контейнера, в противном случае участки поверхности, расположенные ближе к стенкам контейнера прогреваются раньше и до более высокой температуры и имеют большую глубину цементованного слоя. Данная особенность может быть использована в том случае, если техническими требованиями оговорена переменная глубина цементованного слоя.

Измерение твердости по сечению образца после микродуговой цементации выполняли на микротвердомере ПМТе3 при нагрузке 0,98 Н.

В исходной структуре стали 20 микротвердость составила в среднем 3220 МПа, в переходной зоне она повысилась до 4740 МПа, а в пределах цементованного слоя изменялась от 8240 до 9760 МПа в направлении от сердцевины к поверхности. Такая высокая микротвердость, характерная для сдвиговых структур или карбидов [5], может быть объяснена в данном случае значительным содержанием карбидной фазы в структуре поверхностного слоя образца и образованием псевдоэвтектоида, сформировавшегося в процессе достаточно быстрого охлаждения, с преобладанием в составе избыточного цементита в структуре стали заэвтектоидного состава.

Выводы. Таким образом, описанный способ микродуговой ХТО имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с аналогами и позволяет в течение нескольких минут сформировать диффузионный слой глубиной, соизмеримой с традиционными способами ХТО. Как видно, для реализации этого способа не требуется сложное оборудование, что позволяет создавать диффузионные слои на крупногабаритных изделиях и локализовать упрочнение по глубине и геометрии в заданных пределах путем изменения формы и размеров контрэлектрода.

Расход порошкового материала в данной технологии может быть сведен к минимуму, поскольку, как было показано, основной процесс насыщения протекает в незначительном объеме порошка, непосредственно прилегающем к упрочняемой поверхности.

Предложенный способ ХТО позволяет создавать многокомпонентное диффузионное насыщение, например, возможно проведение нитроцементации при добавлении к угольному порошку азотсодержащих компонентов – карбамида или селитры. При этом открывается широкая перспектива вариации составов и свойств диффузионных слоев.

Кроме перечисленных, предстоит изучить принципиальные вопросы, влияющие на результаты ХТО:

– влияние фракционного состава порошка;

– воздействие полярности постоянного тока и возможность применения переменного напряжения;

– рациональные энергетические режимы ХТО;

– производительность процесса применительно к различным сочетаниям легирующих компонентов;

– установление механизма ускорения и закономерностей процесса микродугового поверхностного диффузионного насыщения.

По завершении этой работы данная технология ХТО может быть предложена промышленным предприятиям для практического использования.

Библиографический список

1. Лахтин Ю.М. Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. – М.: Металлургия, 1985. – 255 с.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / Г.В. Борисёнок [и др.]. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
3. Ворошнин Л.Г. Теория и технология химико-термической обработки / Л.Г. Ворошнин, О.Л. Менделеева, В.А. Смёткин. – Минск: Новое знание, 2010. – 297 с.
4. Белкин П.Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов / П.Н. Белкин. – М.: Мир, 2005. – 336 с.
5. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов / В.К. Григорович. – М.: Наука, 1976. – 230 с.

Материал поступил в редакцию 05.07.11.

References

1. Laxtin Yu.M. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov / Yu.M. Laxtin, B.N. Arzamasov. – M.: Metallurgiya, 1985. – 255 s. – In Russian.
2. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov: spravochnik / G.V. Borisyonok [i dr.]. – M.: Metallurgiya, 1981. – 424 s. – In Russian.
3. Voroshnin L.G. Teoriya i texnologiya ximiko-termicheskoj obrabotki / L.G. Voroshnin, O.L. Mendeleeva, V.A. Smyotkin. – Minsk: Novoe znanie, 2010. – 297 s. – In Russian.
4. Belkin P.N. E`lektroximiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov / P.N. Belkin. – M.: Mir, 2005. – 336 s. – In Russian.
5. Grigorovich V.K. Tvyordost` i mikrotvyordost` metallov / V.K. Grigorovich. – M.: Nauka, 1976. – 230 s. – In Russian.

NEW ASPECTS OF SURFACE IMPREGNATION IN POWDER ENVIRONMENT

Y.M. DOMBROVSKIY, M.S. STEPANOV
(Don State Technical University)

The conclusion on the perspective surface impregnation in the powder environment is drawn from the comparative analysis. A new scheme of the surface impregnation in coal and coke powders is offered. Its efficiency, owing to the significant reduction of time on the diffusion saturation under the cementation, is proved experimentally.
Keywords: *surface impregnation, microarc processes in electroconducting powders.*

УДК 629.735.45.035.6

НАПОРНАЯ ТЕОРИЯ НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЕТА

С.П. ЛИСИН
(ОАО «Роствертол»)

Предложена новая теория определения основных аэродинамических характеристик воздушного винта.
Ключевые слова: *напорная теория, несущий винт, тяга.*

Введение. Впервые предположение о подобии аэродинамических характеристик лопасти несущего винта (НВ) вертолета и крыла самолета было высказано С.К. Джевецким в 1892 г. [1]. Это позволило предположить, что на лопасти винта и крыле возникают сходные аэродинамические силы, а это значит, что к воздушному винту можно применить теорию подъемной силы, разработанную для крыла Н.Е. Жуковским совместно с С.А. Чаплыгиным. Над решением этой проблемы в начале двадцатого столетия работали Н.Е. Жуковский, Б.Н. Юрьев, Г.Х. Сабинин. Однако в то время сделать этого не удалось. В настоящей работе сделана попытка решить эту задачу.

Основные положения напорной теории. Для определения подъемной силы крыла самолета вычислим скоростной напор

$$q_{к} = \frac{\rho V^2}{2}, \qquad (1)$$

где V – скорость полета самолета; ρ – плотность воздуха на расчетной высоте.

Определим скоростной напор для винта вертолета

$$q_{в} = \rho \frac{(0,5U_{кл})^2}{2}, \qquad (2)$$

где $U_{кл}$ – окружная скорость конца лопасти вертолета.

Получим подъемную силу крыла самолета

$$Y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S, \qquad (3)$$

где C_y – коэффициент подъемной силы крыла самолета; S – площадь крыла самолета.

Вычислим тягу несущего винта вертолета

$$P_{НВ} = C_{Y.ср} \rho \frac{(0,5U_{кл})^2}{2} F_л, \qquad (4)$$

где $C_{y.ср}$ – среднее значение коэффициента подъемной силы комлевого и концевого сечений лопасти несущего винта (НВ) вертолета (определяется по таблице аэродинамических профилей [3] и имеет вид $C_{y.ср} = \frac{C_{y_{комл}} + C_{y_{конц}}}{2}$); $F_л$ – суммарная площадь оперенной части лопастей вертолета

$$F_л = L_{о.ч.л} B z,$$

где $L_{о.ч.л}$ – длина оперенной части лопасти; B – хорда лопасти; z – число лопастей.

Зависимости (1) – (4) подтверждают предположение С.К. Джевецкого о подобии аэродинамических характеристик лопасти несущего винта вертолета и крыла самолета.

В основе разработанной напорной теории воздушного винта (НТВВ), и в частности НВ вертолета, лежит определение скоростного напора на оперенной части лопасти (2), а также геометрических параметров лопасти НВ.

Тогда выражение (4) можно представить:

$$P_{\text{НВ}} = C_{y.\text{ср}} \rho \frac{(0,5U_{\text{кл}})^2}{2} L_{\text{о.ч.л}} Bz \,. \quad (5)$$

Для определения реактивного момента (РМ) НВ воспользуемся формулой:

$$\text{М}_{\text{Р}} = C_{x.\text{ср}} \frac{\rho (0,5U_{\text{кл}})^2}{2} F_{л} R \,, \quad (6)$$

где $C_{x.\text{ср}}$ – средний коэффициент лобового сопротивления лопасти, $C_{x.\text{ср}} = \frac{C_{x.\text{компл}} + C_{x.\text{компл}}}{2}$, определяется по таблице аэродинамических профилей [3]; R – радиус НВ.

Определим расчетную мощность двигателя

$$N_{\text{U}} = P_{\text{НВ}} 0,5U_{\text{кл}} \,, \quad (7)$$

а также реальную мощность двигателя

$$N_P = N_U G_N \,, \quad (8)$$

где G_N – весовой коэффициент мощностной безопасности, введен автором, $G_N = \frac{N_P}{N_U}$.

Определим скорость индуктивного потока воздуха в плоскости вращения НВ

$$V_{i1} = \frac{U_{\text{кл}} C_{y.\text{ср}}}{\Pi} \,, \quad (9)$$

где Π – коэффициент загрузки НВ, величина обратная коэффициенту заполнения σ, $\Pi = \frac{P_{\text{НВ}} / F_{л}}{P_{\text{НВ}} / F_{\text{НВ}}}$, где $F_{\text{НВ}} = \pi R^2$ – площадь ометаемой поверхности НВ.

Тогда

$$V_{i1} = U_{\text{кл}} \sigma C_{y.\text{ср}} \,. \quad (10)$$

Скорость индуктивного потока на расстоянии (1,5–2)R [4] от НВ

$$V_{i2} = 2V_{i_1} \,. \quad (12)$$

С помощью НТВВ была определена очень важная зависимость между весовым расходом воздуха для заданного НВ и его тягой. Эта зависимость названа автором коэффициентом приемистости тяги винта Z_t, размерность – секунда, с.

$$Z_t = \frac{\Theta_m}{P_{\text{НВ}}} \,, \quad (13)$$

где Θ_m – весовой расход воздуха НВ на заданной высоте:

$$\Theta_m = \Theta_V \gamma \,, \quad (14)$$

где Θ_V – объемный расход воздуха на заданной высоте, $\Theta_V = F_{\text{НВ}} V_{i2}$; γ – удельный вес воздуха на заданной высоте.

Коэффициент приемистости тяги Z_t зависит от весового расхода воздуха на расчетной высоте и имеет тенденцию к уменьшению с увеличением нагрузки на НВ при $F_{\text{НВ}}$ = const, т. е. если $\left(\frac{P_{НВ}}{F_{НВ}}\right)_1 > \left(\frac{P_{НВ}}{F_{НВ}}\right)_2$, то $Z_{t1} > Z_{t2}$.

Используя Z_t, определим расчетную мощность двигателя

$$N_U = \frac{\Theta_m}{Z_t} \frac{0,5V_{i2}}{\sigma} \,, \quad (15)$$

где σ – коэффициент заполнения НВ реактивного момента НВ, $\sigma = \frac{F_{\text{НВ}}}{F_{л}}$.

Тогда реактивный момент

$$\text{М}_\text{р} = C_{x.\text{ср}} \frac{(0,5V_{i1}/\sigma)^2}{2} F_л R\,. \quad (16)$$

Тяга несущего винта

$$P_\text{НВ} = C_{y.\text{ср}} \rho \frac{(0,5V_{i1}/\sigma)^2}{2} F_л\,. \quad (17)$$

В табл. 1 представлены значения коэффициента тяги для различных скоростей индуктивного потока V_{i2} и различных значений диаметров НВ для вертолетов Ми-2, Ми-24, Ми-26.

Таблица 1

Значения коэффициента приемистости тяги Z_t, с

V_{i2}, м/с	Диаметр несущего винта, м		
	14,5 (Ми-2)	17,4 (Ми-24)	32 (Ми-26)
19	1,1		
38,4		1,0	
42,2			0,8

Напорная теория воздушных винтов позволяет с помощью коэффициента приемистости тяги Z_t и скорости индуктивного потока определить основные характеристики несущего винта:

– объемный расход воздуха Θ_V;

– весовой расход воздуха Θ_m;

– тягу двигателя $P_\text{НВ}$;

– реактивный момент винта $\text{М}_\text{р}$;

– расчетную мощность двигателя N_U.

Алгоритм определения основных характеристик несущего винта вертолета.

1. Зададим радиус несущего винта R и скорость индуктивного потока V_{i2}.

2. Определим:

– площадь ометаемой поверхности $F_\text{НВ} = \pi R^2$, м^2;

– объемный расход воздуха $\Theta_V = F_\text{НВ} V_{i2}$, м^3/с;

– весовой расход воздуха $\Theta_m = F_\text{НВ} V_{i2} \gamma$, кН/с;

– коэффициент приемистости Z_t (табл. 1);

– тягу НВ $P_\text{НВ} = \dfrac{\Theta_m}{Z_t}$, кН;

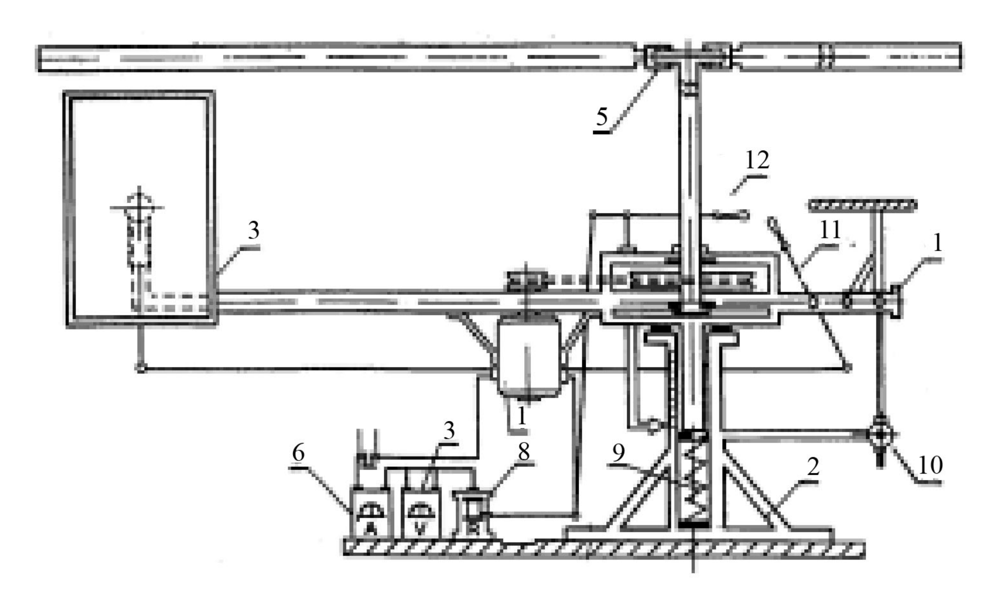
– расчетную мощность двигателя $N_U = \dfrac{\Theta_m}{Z_t} \dfrac{0,5V_{i2}}{\sigma}$, кВт;

– по атласу аэродинамических характеристик крыльевых профилей средний коэффициент лобового сопротивления лопасти [3] $C_{x.\text{ср}}$;

– реактивный момент $\text{М}_\text{р} = C_{x.\text{ср}} \dfrac{(0,5V_{i1}/\sigma)^2}{2} F_л R$, кН·м.

Достоверность напорной теории воздушных винтов была проверена на специально выполненной экспериментальной установке (ЭУ) (см. рисунок).

Кроме этого было проведено исследование статистических данных вертолетов, имеющих взлетный вес от 3,5 т до 56 т (Ми-2, Ми-24, Ми-26).



Экспериментальная установка по определению потребной мощности двигателя, силы тяги и реактивного момента:
1 – подвижная часть установки; 2 – неподвижная часть установки; 3 – стабилизатор для парирования реактивного момента НВ; 4 – электродвигатель ($N_{ном}$ = 4,3 кВт); 5 – несущий винт (*d* = 3,7 м); 6, 7 – амперметр и вольтметр для замера потребной мощности двигателя; 8 – реостат для регулировки мощности двигателя; 9 – оттарированная пружина для замера тяги несущего винта; 10 – динамометр для замера реактивного момента несущего винта; 11 – ручка управления стабилизатором; 12 – ручка управления электродвигателем

Данные исследования приведены в табл. 2. Среднестатистическая погрешность между замеренными и расчетными данными не превышает погрешности измерений.

Таблица 2

Статистические и экспериментальные данные НВ и ЭУ

Тип вертолета и ЭУ	Параметры НВ	Статистические данные вертолетов и замеренные параметры ЭУ	Расчетные данные (по НТВВ)	Погрешность параметра, %
ЭУ σ = 0,06	n = 6,5 об/с	P = 1,40 кН	P = 1,39 кН	0,99
	R = 1,85 м	$M_р$ = 1,25 кН·м	$M_р$ = 1,23 кН·м	0,98
	L = 1,6 м	$N_{п.д}$ = 6,5 кВт	$N_{п.д.}$ = 6,5 кВт	0
	$в$=0,16 м, Z=3	V_{i2} = 13 м/с	V_{i2} = 12,5 м/с	0,96
Ми-2 σ = 0,06	n = 3,1 об/с	P = 35,0 кН	P = 34,1 кН	0,97
	R = 7,25 м	$M_р$ = 16,0 кН·м	$M_р$ = 16,3 кН·м	0,98
	L = 6,4 м	$N_{п.д.}$ =2·350 л.с. = 514,2 кВт	$N_{п.д}$ = 352 кВт	–
	$в$=0,41 м, Z=3	V_{i2} = 19,0 м/с	V_{i2} = 18,7 м/с	0,95
Ми-24 σ = 0,06	n = 4,0 об/с	P = 115,0 кН	P = 113,0 кН	0,98
	R = 8,6 м	$M_р$ = 105,0 кН·м	$M_р$ = 107,0 кН·м	0,98
	L = 7,2 м	$N_{п.д}$ = 2·2200 л.с. = 3235 кВт	$N_{п.д}$ = 1480 кВт	0,9
	$в$=0,58 м, Z=5	V_{i2} = 38,0 м/с	V_{i2} = 38,8 м/с	0,97
Ми-26 σ = 0,06	n = 2,1 об/с	P = 560,0 кН	P = 556,95 кН	0,99
	R = 16,0 м	$M_р$ = 750,0 кН·м	$M_р$ = 752,0 кН·м	0,99
	L = 13,3 м	$N_{п.д}$ = 2·11500 л.с. = 16911 кВт	$N_{п.д}$ = 8500 кВт	0,99
	$в$=0,8 м, Z = 8	V_{i2} = 42 м/с	V_{i2} = 42,2 м/с	0,97

Выводы.

1. Из формул (4), (5), (8), (9) следует, что в основе напорной теории воздушных винтов лежит скоростной напор, подобный скоростному напору крыла.

2. Параметр $0{,}5U_{кл}$ является основным в напорной теории воздушного винта и заменяет параметр скорости полета самолета в скоростном напоре крыла.

3. Сравнение основных характеристик, полученных на ЭУ, с расчетными и статистическими данными вертолетов Ми-2, Ми-24, Ми-26 (табл. 2) свидетельствует, что разница в значениях не превышает погрешности измерений.

4. На основании предложенной напорной теории воздушных винтов можно разработать простой и достаточно точный метод определения основных характеристик воздушных винтов.

Библиографический список

1. Мхитарян А.М. Аэродинамика / А.М. Мхитарян. – М.: Машиностроение, 1970.
2. Арлазоров М.С. Жуковский / М.С. Арлазоров. – М.: Молодая гвардия, 1959.
3. Кашафутдинов С.Т. Атлас аэродинамических характеристик крыльевых профилей / С.Т. Кашафутдинов, В.Н. Лунин; Сибир. науч.-иссл. ин-т авиации им. С.Н. Чаплыгина. – Новосибирск, 1994.
4. Алкян О.М. Аэродинамика и динамика полета вертолета / О.М. Алкян, В.Ф. Ромасевич, В.С. Совгиренко. – М.: Военное изд-во МО СССР, 1973.
5. Прицкер Д.М. Аэромеханика / Д.М. Прицкер, В.А. Турьян. – М.: Оборонгиз, 1960.
6. Вертолеты. Расчет и проектирование / М.Л. Миль [и др.]. – Ч. 1. – М.: Машиностроение, 1966.
7. Тищенко Н.Н. Вертолеты / Н.Н. Тищенко, А.В. Некрасов, А.С. Радин. – М.: Машиностроение, 1976.
8. Ромасевич В.Ф. Практическая аэродинамика вертолетов / В.Ф. Ромасевич, Г.А. Самойлов. – М.: Военное изд-во МО СССР, 1980.
9. Богданов Ю.С. Конструкция вертолетов / Ю.С. Богданов, Р.А. Михеев, Д.Д. Скулков. – М.: Машиностроение, 1990.

Материал поступил в редакцию 07.07.11.

References

1. Mxitaryan A.M. Ae`rodinamika / A.M. Mxitaryan. – M.: Mashinostroenie, 1970. – In Russian.
2. Arlazorov M.S. Zhukovskij / M.S. Arlazorov. – M.: Molodaya gvardiya, 1959. – In Russian.
3. Kashafutdinov S.T. Atlas ae`rodinamicheskix xarakteristik kry`l`evy`x profilej / S.T. Kashafutdinov, V.N. Lunin; Sibir. nauch.-issl. in-t aviacii im. S.N. Chaply`gina. – Novosibirsk, 1994. – In Russian.
4. Alkyan O.M. Ae`rodinamika i dinamika polyota vertolyota / O.M. Alkyan, V.F. Romasevich, V.S. Sovgirenko. – M.: Voennoe izd-vo MO SSSR, 1973. – In Russian.
5. Priczker D.M. Ae`romexanika / D.M. Priczker, V.A. Tur`yan. – M.: Oborongiz, 1960. – In Russian.
6. Vertolyoty`. Raschyot i proektirovanie / M.L. Mil` [i dr.]. – Ch. 1. – M.: Mashinostroenie, 1966. – In Russian.
7. Tishhenko N.N. Vertolyoty` / N.N. Tishhenko, A.V. Nekrasov, A.S. Radin. – M.: Mashinostroenie, 1976. – In Russian.
8. Romasevich V.F. Prakticheskaya ae`rodinamika vertolyotov / V.F. Romasevich, G.A. Samojlov. – M.: Voennoe izd-vo MO SSSR, 1980. – In Russian.
9. Bogdanov Yu.S. Konstrukciya vertolyotov / Yu.S. Bogdanov, R.A. Mixeev, D.D. Skulkov. – M.: Mashinostroenie, 1990. – In Russian.

PRESSURE THEORY OF HELICOPTER ROTOR

S.P. LISIN
(JSC «Rostvertol»)

A new theory of determining the principal aerodynamic characteristics of the propeller is offered.
Keywords: *pressure theory, main rotor, thrust power.*

УДК 621.313.333.2

О ДИНАМИКЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ ПРИ НЕСИММЕТРИИ ПИТАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

М.Ю. ПУСТОВЕТОВ
(Донской государственный технический университет),
И.В. СИНЯВСКИЙ
(Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт электровозостроения (ОАО «ВЭлНИИ», г. Новочеркасск))

Рассмотрены вопросы специфики тепловых процессов в асинхронном двигателе при его питании несимметричной системой напряжений. Приведены результаты компьютерного моделирования динамики нагрева. Определены условия возникновения опасных в тепловом отношении режимов работы.
Ключевые слова: *несимметричная система трехфазных напряжений, асинхронный двигатель, нагрев.*

Введение. Актуальной является задача моделирования процессов нагрева элементов конструкции асинхронного двигателя (АД) при его функционировании в составе вспомогательного электропривода (ВЭП) электровоза, когда питание АД осуществляется от несимметричной системы 3-фазных напряжений [1]. По данным статистики ОАО «РЖД» за 2010 г. выплавления обмотки ротора составили 33% отказов АД типа НВА-55, 25% – АНЭ-225 и 15% – АЭ 92-4. Пример конденсаторной схемы питания для ВЭП с АД приведен в [2].

Характерные особенности разработанной тепловой модели. В качестве исходных данных для тепловых расчетов используются результаты моделирования токов (как причин нагрева) и потерь в ранее разработанной в САПР OrCAD компьютерной модели электромеханических процессов в АД, которая позволяет рассчитывать динамические режимы АД при учете несимметрии как по конструкции, так и по питанию [3]. Для построения тепловой модели выбран метод тепловых схем с использованием принципа приближенного расчета двухмерного поля Р. Зодерберга [4]. Сведения о моделировании нестационарных тепловых процессов в электрических машинах, информация по способам расчета параметров тепловых схем и справочные данные о тепловых свойствах электротехнических материалов приведены в [4, 5]. В тепловой модели использовано около 300 различных элементов типа тепловых потоков, теплоемкостей и тепловых сопротивлений. Фрагмент эквивалентной тепловой схемы пазовой части статора АД типа НВА-55 представлен на рис. 1.

При рассмотрении динамических тепловых процессов, неодинаково развивающихся в разных фазах, возникла необходимость учета в модели уравнительных тепловых потоков между фазными участками магнитопроводов, зубцовых зон, станины. Так как ротор вращается относительно статора, то мимо различных в тепловом отношении участков обмотки статора проходит вся поверхность ротора (исключая работу в режиме короткого замыкания, когда ротор неподвижен относительно статора). Так как ротор вращается относительно магнитного поля, то контуры тока, наводимые от различных фаз статора, в обмотке ротора, не привязаны жестко к частям поверхности ротора. С одной стороны, если фазы статора ввиду несимметрии системы напряжений нагружены разными по величине токами, то в роторе из-за его вращения нет постоянной привязки какой-либо группы стержней к определенной фазе, по этой причине не должно быть и постоянно локализованного перегрева какой-либо фазы из-за несимметричного питания. С другой стороны, дефекты обмотки ротора (обрывы, раковины стержней, вырывы участков короткозамыкающих колец и др.) привязаны именно к определенным участкам поверхности ротора, фазам. Поэтому целесообразно пофазное рассмотрение зон в тепловой схеме ротора.

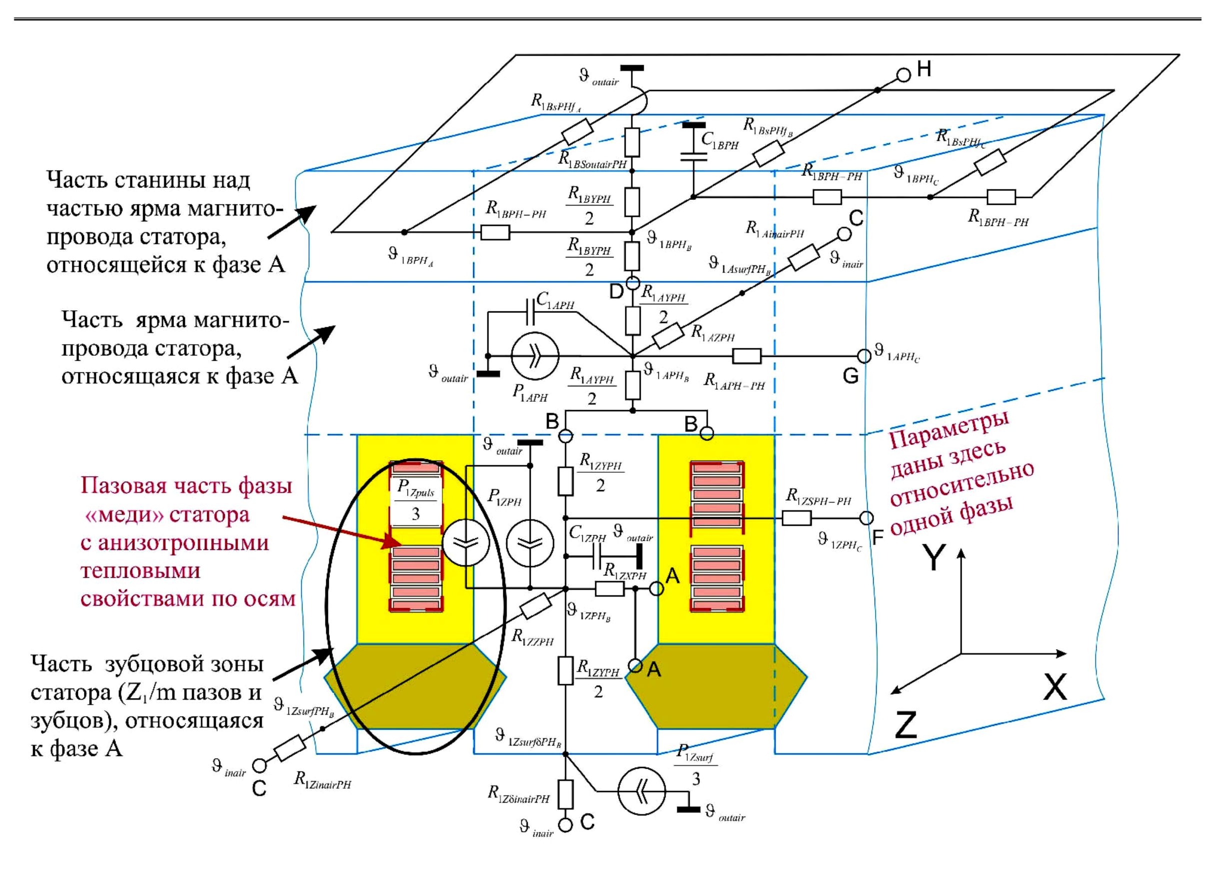


Рис. 1. Фрагмент эквивалентной тепловой схемы пазовой части статора АД:
P – потери (тепловые потоки), Вт; R – тепловое сопротивление, °С/Вт; C – теплоемкость, Дж/°С; ϑ – температура для различных зон (ярмо, станина, зубец, паз, клин, изоляция, металл обмотки, воздух внутри АД, воздух снаружи АД), °С

Основные потери в стали ротора в установившемся режиме обычно не учитываются ввиду их малости, но в процессе пуска, других переходных процессах, связанных с работой при больших скольжениях, такое допущение недопустимо грубо. Так как потери в стали ротора можно представить как выделяющиеся при протекании тока через активное сопротивление, подключенное в Т-образной схеме замещения параллельно традиционному контуру намагничивания [6], который, в свою очередь, состоит из параллельно включенных активного и индуктивного сопротивлений, то можно поставить основные потери в стали в зубцах ротора и в ярме ротора в соответствие основным потерям в стали статора на основании соотношений установившегося режима короткого замыкания. Рассмотрим это на примере. Обозначим основные потери в стали в зубцах ротора как P_{2ZPH} . Их мгновенные значения рассчитываются в модели АД для каждой фазы из величины значений потерь в стали каждой фазы, которые можно определить согласно [5]

$$P_{2cPH} = \frac{1}{m} p_{1,0/50} \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)^{\beta} \left(k_{\text{да}} B_{a2}^2 m_{a2} + k_{\text{дZ}} B_{Z2\text{ср}}^2 m_{Z2}\right), \tag{1}$$

где $p_{1,0/50}$ – удельные потери в стали 2212 толщиной 0,5 мм при индукции 1 Тл и частоте перемагничивания 50 Гц, $p_{1,0/50} = 2,2$ Вт/кг; β – показатель степени, учитывающий зависимость потерь в стали от частоты перемагничивания, $\beta = 1,3 - 1,5$, принимаем $\beta = 1,4$; n_1 – синхронная частота вращения для НВА-55, $n_1 = 1500$ об/мин.

Тогда потери в стали ротора на каждую фазу между ярмом P_{2APH} и зубцами P_{2ZPH} разделятся в пропорции

$$\frac{P_{2APH}}{P_{2ZPH}} = \frac{k_{\text{да}} B_{a2}^2 m_{a2}}{k_{\text{дZ}} B_{Z2\text{ср}}^2 m_{Z2}}, \qquad (2)$$

где k – коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов, $k_{\text{да}} = 1{,}6$, $k_{\text{дZ}} = 1{,}8$ согласно [5] для машин мощностью менее 250 кВт.

Для НВА-55 индукция в ярме ротора $B_{a2} = 0{,}906$ Тл, а индукция в среднем сечении зубца ротора $B_{Z2\text{ср}} = 1{,}661$ Тл, тогда $\frac{P_{2APH}}{P_{2ZPH}} = \frac{1{,}6 \cdot 0{,}906^2 \cdot 51{,}6}{1{,}8 \cdot 1{,}661^2 \cdot 16{,}4} \approx 0{,}5$, т. е.

$$P_{2ZPH} \approx \frac{2P_{2cPH}}{3} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot 2{,}2\left(1 - \frac{n_2}{1500}\right)^{1,4} (1{,}6 \cdot 0{,}906^2 \cdot 51{,}6 + 1{,}8 \cdot 1{,}661^2 \cdot 16{,}4) = 72{,}948\left(1 - \frac{n_2}{1500}\right)^{1,4}.$$

Известно, что потери в стали НВА-55 составляют $P_{1c} = 982$ Вт. При симметричном питании на одну фазу приходится $P_{1cPH} = \frac{P_{1c}}{m} = \frac{982}{3} = 327{,}333$ (Вт).

В режиме короткого замыкания

$$P_{2ZPH} = 72{,}948\left(1 - \frac{0}{1500}\right)^{1,4} = 72{,}948 \text{ (Вт)}; \; P_{1cPH} = 327{,}333 \text{ Вт};$$

$$P_{2ZPH} = \frac{72{,}948}{327{,}333} P_{1cPH} = 0{,}223 P_{1cPH}.$$

Обобщая последнее соотношение на другие режимы, получаем

$$P_{2ZPH} = 0{,}223 P_{1cPH}\left(1 - \frac{n_2}{1500}\right)^{1,4}. \qquad (3)$$

При несимметричной системе питающих напряжений

$$P_{2ZPH} = 0{,}223\left(\frac{P_{1cPHA} + P_{1cPHB} + P_{1cPHC}}{3}\right)\left(1 - \frac{n_2}{1500}\right)^{1,4}. \qquad (4)$$

Аналогично рассчитываются основные потери в стали ярма ротора.

Для любого режима работы, исключая режим короткого замыкания, основные потери в стали в зубцах ротора и в ярме ротора разделяются в равных долях на каждую фазу. Тепловые потоки от поверхностных потерь в стали зубцов ротора, а также пульсационных потерь в зубцах ротора относятся в равных долях на каждую фазу.

Потери в проводниках ротора в модели рассчитываются из следующих соображений. Потери в проводнике пропорциональны квадрату тока и активному сопротивлению. Так как для беличьей клетки пазовая часть одной фазы физически состоит из одного стержня, то током фазы будет ток через стержень. Полагаем, что при приведении обмотки ротора к трехфазной обмотке статора ток фазы ротора I_2' пропорционален току стержня I_{bar}. Одна лобовая часть одной фазы беличьей клетки физически состоит из участка короткозамыкающего кольца между соседними стержнями. Каждая фаза беличьей клетки может быть описана как конструкция, содержащая один участок короткозамыкающего кольца между соседними стержнями, один стержень и еще один участок короткозамыкающего кольца между соседними стержнями.

Ток короткозамыкающего кольца [5]

$$I_{ring} = \frac{I_{bar}}{2\sin\frac{\pi p}{Z_2}} = \frac{I_{bar}}{2\sin\frac{\pi 2}{38}} = \frac{I_{bar}}{0{,}329}, \qquad (5)$$

где p – число пар полюсов НВА-55, $p = 2$; Z_2 – число зубцов ротора НВА-55, $Z_2 = 38$.

Активное сопротивление одного стержня

$$r_{bar} = \frac{l}{\gamma_{\text{АХЖ}} S_{bar}} = \frac{0,24}{16 \cdot 10^6 \cdot 118,3 \cdot 10^{-6}} = 1,26796 \cdot 10^{-4} \text{ (Ом)}, \tag{6}$$

где γ – удельная электрическая проводимость алюминиевого сплава АХЖ беличьей клетки ротора НВА-55 при температуре 20 °С, $\gamma_{\text{АХЖ}} = 16 \cdot 10^6$ См/м; S_{bar} – площадь поперечного сечения стержня НВА-55, $S_{bar} = 118,3 \cdot 10^{-6}$ м^2.

Активное сопротивление двух участков короткозамыкающего кольца между двумя соседними стержнями

$$r_{ring \times 2} = \frac{2\pi(D_{2out} - h_{ring})}{Z_2 \gamma_{\text{АХЖ}} S_{bar}} = \frac{2\pi(0,2474 - 0,045)}{38 \cdot 16 \cdot 10^6 \cdot 720 \cdot 10^{-6}} = 0,02905 \cdot 10^{-4} \text{ (Ом)}. \tag{7}$$

Потери в стержне можно вычислить как

$$P_{2bar} = I_{bar}^2 r_{bar} = 1,26796 \cdot 10^{-4} I_{bar}^2 \text{ (Вт)}, \tag{8}$$

потери в двух участках короткозамыкающего кольца между двумя соседними стержнями

$$P_{2ring \times 2} = \left(\frac{I_{bar}}{2 \sin \frac{\pi \cdot 2}{38}} \right)^2 r_{ring \times 2} = \left(\frac{I_{bar}}{0,329} \right)^2 0,02905 \cdot 10^{-4} = 0,0883 \cdot 10^{-4} I_{bar}^2 \text{ (Вт)}. \tag{9}$$

Доля потерь в стержне на фазу беличьей клетки

$$\frac{P_{2bar}}{P_{2bar} + P_{2ring \times 2}} 100\% = \frac{1,26796 \cdot 10^{-4} I_{bar}^2}{10^{-4}(1,26796 + 0,0883) I_{bar}^2} 100\% = 93,5\%. \tag{10}$$

Доля потерь в кольцах на фазу беличьей клетки

$$\frac{P_{2ring \times 2}}{P_{2bar} + P_{2ring \times 2}} 100\% = \frac{0,0883 \cdot 10^{-4} I_{bar}^2}{10^{-4}(1,26796 + 0,0883) I_{bar}^2} 100\% = 6,5\%. \tag{11}$$

Потери в обмотке ротора на фазу

$$P_{2SPH} = \frac{P_{2PHA} + P_{2PHB} + P_{2PHC}}{m} \frac{P_{2bar}}{P_{2bar} + P_{2ring \times 2}}. \tag{12}$$

Приведенные выше соотношения справедливы при симметрии фаз обмотки ротора (без дефектов стержней). В случае, когда в одной из фаз, например А, оборваны $n_{\infty A}$ стержней, потери в обмотке ротора на фазу могут быть рассчитаны для фазы А

$$P_{2SPHA} = \frac{P_{2PHA} + P_{2PHB} + P_{2PHC}}{m} \frac{P_{2bar}}{P_{2bar} + P_{2ring \times 2}} \left(1 - \frac{n_{\infty A} m}{Z_2} \right). \tag{13}$$

Аналогично для фазы В:

$$P_{2SPHB} = \frac{P_{2PHA} + P_{2PHB} + P_{2PHC}}{m} \frac{P_{2bar}}{P_{2bar} + P_{2ring \times 2}} \left(1 - \frac{n_{\infty B} m}{Z_2} \right). \tag{14}$$

Если в фазе С нет оборванных стержней, то потери в ее пазовой части будут

$$P_{2SPHC} = (P_{2PHA} + P_{2PHB} + P_{2PHC}) \frac{P_{2bar}}{P_{2bar} + P_{2ring \times 2}} - P_{2SPHB} - P_{2SPHA}. \tag{15}$$

Если обрывы стержней есть лишь в одной фазе, например А, то для фаз без разрывов стержней:

$$P_{2SPHC} = \frac{1}{2}(P_{2PHA} + P_{2PHB} + P_{2PHC}) \frac{P_{2bar}}{P_{2bar} + P_{2ring \times 2}} - P_{2SPHA}. \tag{16}$$

Если в каждой фазе есть разрывы стержней, то используются выражения (например, когда оборвано минимальное количество стержней $n_{\infty C}$ в фазе С):

$$P_{2SPHC} = \left(P_{2PHA} + P_{2PHB} + P_{2PHC}\right)\frac{P_{2bar}}{P_{2bar} + P_{2ring\times 2}} - P_{2SPHB} - P_{2SPHA}; \qquad (17)$$

$$P_{2SPHA} = \frac{P_{2PHA} + P_{2PHB} + P_{2PHC}}{m}\frac{P_{2bar}}{P_{2bar} + P_{2ring\times 2}}\left(1 - \frac{n_{\infty A} m}{Z_2 - n_{\infty C} m}\right); \qquad (18)$$

$$P_{2SPHB} = \frac{P_{2PHA} + P_{2PHB} + P_{2PHC}}{m}\frac{P_{2bar}}{P_{2bar} + P_{2ring\times 2}}\left(1 - \frac{n_{\infty B} m}{Z_2 - n_{\infty C} m}\right). \qquad (19)$$

Чтобы чрезмерно не усложнять тепловую модель и не замедлять ход решения на ЭВМ, приняты некоторые допущения. Например, тепловое сопротивление между внутренним воздухом машины и наружным воздухом, определяемое подогревом внутреннего воздуха, принято постоянным, хотя фактически оно является переменным и зависит от частоты вращения ротора (скорости перемешивания воздуха).

Определение адекватности тепловой модели. Вычисления направлены на установление адекватности тепловой модели экспериментальным результатам. С учетом реальной длительности (3,5–4,0 ч) установления тепловых процессов в НВА-55 моделирование таких процессов в OrCAD 9.2 от нулевого перегрева до установившегося представляется затруднительным: требуется машинное время порядка нескольких суток, значительный ресурс оперативной памяти ЭВМ, предельный размер файла результатов моделирования – 2 Гбайт. Поэтому проведены вычислительные эксперименты, позволяющие оценить адекватность модели при существенно меньших затратах машинного времени:

– моделирование адиабатического процесса нагрева обмоток (стоянка под током с горячего состояния) при симметричном синусоидальном питании напряжением 380 В с оценкой средней температуры обмотки статора по истечении 18 с;

– моделирование длительной работы АД для привода вентилятора, питаемого по конденсаторной схеме, с оценкой промежуточных результатов нагрева участков станины, расположенных над железом статора.

В качестве граничных условий в начале моделирования процесса адиабатического нагрева для имитации горячего состояния машины приняты данные, базирующиеся на результатах испытаний НВА-55 ОАО «ВЭлНИИ» при номинальной нагрузке (табл. 1).

Таблица 1

Граничные условия для моделирования в начале процесса адиабатического нагрева, имитирующие горячее состояние НВА-55, базирующиеся на результатах испытаний НВА-55 при номинальной нагрузке

U_{12}, В	U_{23}, В	U_{31}, В	Температура обмотки статора, °С	Температура обмотки ротора, °С	Температура корпуса, °С	Температура подшипников, °С
380	384	381	78	88	65	50

Принятые граничные условия приведены в табл. 2. Сравнение результатов моделирования процесса адиабатического нагрева НВА-55 (стоянка под током с горячего состояния) с опытными данными при температуре окружающего воздуха 20 °С дано в табл. 3. Наблюдается удовлетворительное соответствие результатов моделирования данным опыта. Согласно [7], перегрев алюминия беличьей клетки ротора не должен быть выше 300 °С, т. е. температура не должна превышать 350 °С, что в сопоставлении с данными табл. 3 косвенно также свидетельствует об адекватности модели. Данное температурное ограничение объясняется значительным увеличением пластичности алюминиевых сплавов при перегреве выше 300 °С.

Таблица 2

Принятые граничные условия моделирования в начале процесса адиабатического нагрева для имитации горячего состояния НВА-55

Температура зубцов статора, °С	Температура ярма статора, °С	Температура зубцов ротора, °С	Температура ярма ротора, вала, подшипниковых щитов, внутреннего воздуха, °С
78	65	88	50

Экспериментальной базой для определения адекватности моделирования длительной работы АД для привода вентилятора (мотор-вентилятора), питаемого по конденсаторной схеме, с оценкой промежуточных результатов нагрева станины над железом статора стали данные испытаний ОАО «ВЭлНИИ» на электровозе 3ЭС5К-047, а именно кривые изменения перегрева самой нагретой части станины НВА-55 над температурой окружающего воздуха во времени. Ввиду большой длительности процесса нагрева (до 4 ч) и ограниченности вычислительных ресурсов (моделирование проводилось на ЭВМ с процессором типа Pentium 4 и оперативной памятью 2 Гбайт при предельном размере файла результатов моделирования 2 Гбайт) для сравнения доступны начальные участки кривых нагрева (см. рис. 2).

Таблица 3

Сравнение результатов моделирования процесса адиабатического нагрева НВА-55 (стоянка под током с горячего состояния) с опытными данными при температуре окружающего воздуха 20 °С

Длительность процесса, с	Температура поверхности корпуса над железом статора, °С (модель)	Температура короткозамыкающих колец обмотки ротора, °С (модель)	Температура стержней обмотки ротора, °С (модель)	Температура лобовых частей обмотки статора, °С (модель)	Температура пазовых частей обмотки статора, °С (модель)
18	64,4	363,4	343,6	166,6	158,8
		Средняя температура обмотки ротора, °С (модель)		Средняя температура обмотки статора, °С	
				модель	опыт
		353,5		162,7	180,0

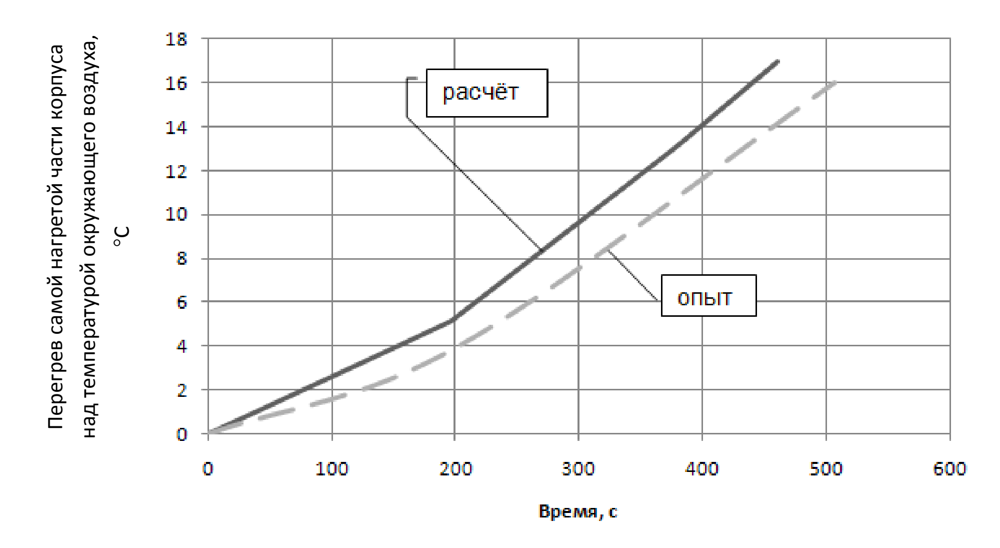


Рис. 2. Сравнение опытных и расчетных данных о нагреве станины НВА-55 при питании по конденсаторной схеме несимметричной системой напряжений

Из рис. 2 видно, что процесс нагрева на модели идет несколько быстрее, чем по опытным данным (средняя относительная ошибка 20%). Различие может быть скорректировано за счет увеличения теплоемкости внутреннего воздуха машины путем увеличения его объема (при моделировании не учтен обмен воздухом с окружающей средой). В пользу именно такого объяснения природы расхождения результата опыта и моделирования на рис. 2 говорит то обстоятельство, что при моделировании адиабатического нагрева, где за время процесса практически не успевает происходить обмен внутреннего воздуха машины с наружным, расхождение расчетной и опытной величин среднего превышения температуры обмотки статора над температурой окружающего воздуха меньше и имеет противоположный знак (относительная ошибка составляет минус 11%). Отметим, что тепловая модель станины НВА-55 (см. рис. 1) носит приближенный характер ввиду довольно сложных путей теплопередачи от магнитопровода статора к корпусу, что обусловлено спецификой конструкции этого АД.

Результат моделирования тепловых процессов при включении одного мотор-вентилятора в длительном режиме по конденсаторной схеме питания показан на рис. 3.

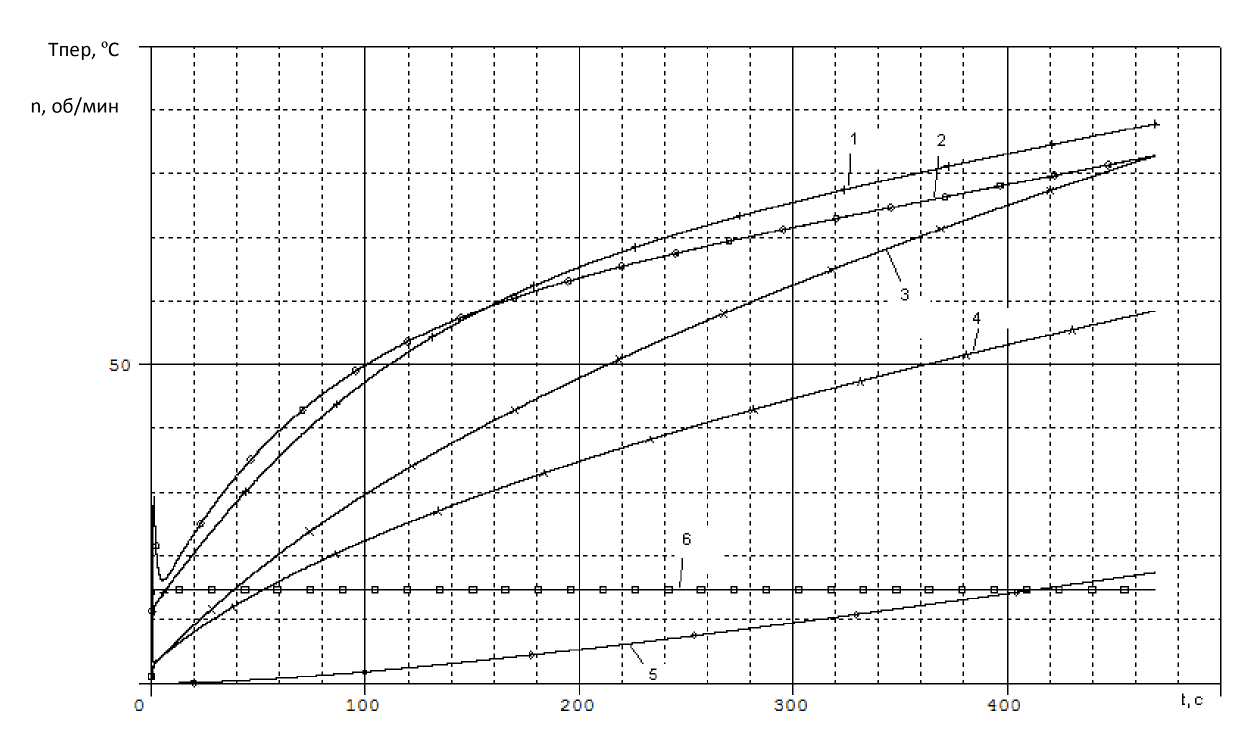


Рис. 3. Результат моделирования тепловых процессов при включении одного АД привода вентилятора в длительном режиме по конденсаторной схеме (графики перегревов самой нагретой фазы А):
1 – короткозамыкающие кольца обмотки ротора; *2* – стержни обмотки ротора; *3* – лобовые части обмотки статора; *4* – пазовая часть обмотки статора; *5* – поверхность станины; *6* – частота вращения ротора *n*/100, об/мин

Известно [8, 9], что частота включений АД привода компрессора (мотор-компрессора) может достигать 40–60 в час, что сопровождается значительными токами и, как следствие, выделением тепла. Результаты моделирования режима ПВ мотор-компрессора, питаемого по конденсаторной схеме, при емкости конденсаторов 70% от номинальной (это минимальный предел снижения емкости от номинала, допускающий, согласно результатам моделирования, пуск мотор-компрессора при напряжении на обмотке собственных нужд тягового трансформатора не ниже 380 В) показаны на рис. 4 (ПВ 50% при длительности цикла 8 с). В режиме работы, показанном на рис. 4, перегрев алюминия беличьей клетки ротора до 300 °С может быть достигнут за время порядка 500–600 с. При тяжелых затяжных пусках ввиду большей продолжительности протекания пусковых токов это время сократится.

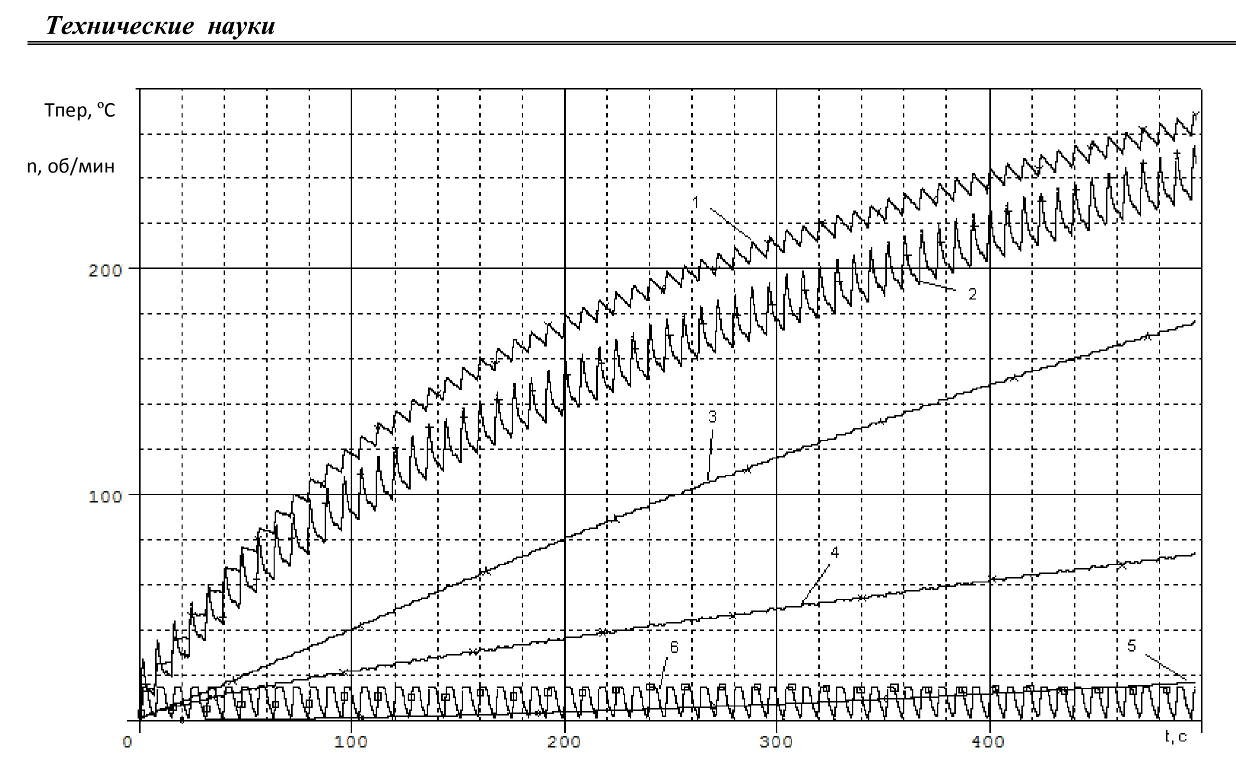


Рис. 4. Результаты моделирования режима ПВ мотор-компрессора, питаемого по конденсаторной схеме при емкости конденсаторов 70% от номинальной (графики перегревов самой нагретой фазы А)

Определение опасных в тепловом отношении режимов работы АД. Поставлена задача определить, при каких условиях в случае питания АД типа НВА-55 по конденсаторной схеме при номинальной емкости конденсаторов за относительно короткий промежуток времени достигается перегрев алюминиевого сплава марки АХЖ беличьей клетки ротора до 300 °С. С помощью разработанной тепловой модели эти условия выявлены. Индикатором появления состояния обмотки ротора, которое влечет за собой весьма быстрое (за 8–20 с) нарастание перегрева участков беличьей клетки из сплава АХЖ до опасных значений 300 °С и более, является возникновение при питании по конденсаторной схеме небаланса междуфазных напряжений на частоте основной гармоники с величиной небаланса 360–380 В при установившемся режиме работы привода. Опасные по нагреву режимы сопровождаются весьма значительными величинами токов фаз АД, причем в одной из фаз ток в 7–9 раз превосходит номинальный. Коэффициент небаланса междуфазных напряжений определялся согласно [10]

$$k_{\text{неб.мф}} = \frac{U_{\text{нб}} - U_{\text{нм}}}{U_{\text{н}}} 100\%, \quad (20)$$

где $U_{\text{нб}}$, $U_{\text{нм}}$ – наибольшее и наименьшее действующие значения из трех междуфазных напряжений; $U_{\text{н}}$ – номинальное значение линейного напряжения АД, $U_{\text{н}} = 380$ В.

Как показало компьютерное моделирование пуска до установившегося режима единичного АД, такие опасные режимы работы складываются в результате обрыва 21–33% стержней беличьей клетки при определенных вариантах их распределения по фазам ротора. Они характеризуются возможностью достижения температуры плавления алюминиевого сплава в отдельных участках ротора за время 20–40 с (температура плавления технического алюминия 658 °С) при перегреве поверхности корпуса АД 0,1–0,3 °С. При этом АД работает в установившемся режиме со скольжением 7–36% (скольжение НВА-55 в номинальном режиме составляет 3,9%). Коэффициент небаланса междуфазных напряжений составляет $k_{\text{неб.мф}}$ = 96–100%. Для развития опасного режима достаточно повреждения хотя бы одного стержня дополнительно к ранее оборвавшимся,

причем до этого критического обрыва коэффициент небаланса междуфазных напряжений был в пределах $k_{неб.мф}$ = 24–36%. Для случая питания единичного НВА-55 по конденсаторной схеме при отсутствии дефектов обмотки ротора $k_{неб.мф}$ = 23,7%.

Пример множественного повреждения стержней беличьей клетки НВА-55 показан на рис.5 (фотография ротора АД, эксплуатировавшегося на электровозе типа ЭП1М). Можно рассмотреть выплавления и разрывы стержней (не менее 12 штук) почти во всех пазах, которые видны на фото.



Рис. 5. Ротор АД НВА-55 с множественными повреждениями стержней беличьей клетки, эксплуатировавшийся на электровозе типа ЭП1М с конденсаторной системой питания АД

Среди множества причин возникновения и развития дефектов обмотки ротора из алюминия и его сплавов называют остаточные механические напряжения в процессе изготовления беличьей клетки, что подробно описано в [11]: так как коэффициент температурного расширения алюминия в 2 раза выше, чем стали, при остывании алюминиевой заливки сердечника возникают механические силы в стержнях беличьей клетки, которые могут превосходить по величине предел текучести алюминия, приводя к податливости стержней.

Заключение. Разработанная тепловая модель АД является адекватной и может быть использована для исследования тепловых процессов, включая случаи несимметричного питания и конструктивной несимметрии АД, в том числе для выявления опасных в тепловом отношении режимов работы электропривода. Например, режим ПВ при частых включениях может быть значительно более напряженным в тепловом отношении, чем длительный режим. Индикатором опасных по нагреву режимов, вызванных дефектами стержней беличьей клетки ротора, является коэффициент небаланса междуфазных напряжений АД, который целесообразно периодически контролировать в процессе эксплуатации по показаниям бортовой микропроцессорной системы локомотива. Критическое значение этого коэффициента может быть установлено по результатам сопоставления измерений в процессе эксплуатации со статистикой отказов вспомогательных АД.

Библиографический список

1. Гирник А.С. Математическое моделирование работы трехфазных вспомогательных электрических машин на электровозе 2ЭС5К в условиях асимметричного питания / А.С. Гирник, О.Л. Рапопорт // Изв. Томского политехн. ун-та. – 2009. – Т. 314. – № 4. – С. 69–73.

2. Рутштейн А.М. Регулируемый вспомогательный электропривод электровоза ЭП1 / А.М. Рутштейн // Электровозостроение: сб. науч. тр. – 1998. – Т. 40. – С. 213–221.

3. Модель асинхронного электропривода, выполненная в системе OrCAD 9.2 / М.Ю. Пустоветов [и др.] // Оптимизация режимов работы систем электроприводов: межвуз. сб. науч. тр. / КГТУ. – Красноярск, 2002. – С. 42–51.

4. Сипайлов Г.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: учебник для вузов по специальности «Электромеханика» / Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан. – М.: Высшая школа, 1989. – 239 с.

5. Проектирование электрических машин: учебник для вузов. В 2 кн. Кн. 1 / под ред. И.П. Копылова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 464 с.

6. Jinhwan J. A Vector Control Scheme for EV Induction Motors with a Series Iron Loss Model / Jinhwan Jung, Kwanghee Nam // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – Vol. 45. – No. 4. – August 1998. – P. 617–624.

7. Онищенко Г.Б. Электрический привод: учебник для вузов / Г.Б. Онищенко. – М.: РАСХН, 2003. – 320 с.

8. Украинский Э.В. Совершенствование вспомогательных электрических машин подвижного состава / Э.В. Украинский // Электровозостроение: сб. науч. тр. – 2003. – Т. 45. – С. 122–131.

9. Рутштейн А.М. Система питания вспомогательных цепей магистрального электровоза постоянного тока от статического преобразователя / А.М. Рутштейн // Вестн. ВЭлНИИ. – 2005. – Т. 2 (49). – С. 128–141.

10. Короткевич М.А. Основы эксплуатации электрических сетей: учеб. пособие / М.А. Короткевич. – Минск: Выша школа, 1999. – 267 с.

11. Finley W.R. Selection of Copper vs. Aluminum Rotors for Induction Motors / William R. Finley, Mark M. Hodowanec // Paper No. PCIC-2000-19 [Electronic resource] URL: http://www.sea.siemens.com/us/internet-dms/dt/ElectricMotorsComm/ElectricMotors/Docs.

Материал поступил в редакцию 21.06.11.

References

1. Girnik A.S. Matematicheskoe modelirovanie raboty` tryoxfazny`x vspomogatel`ny`x e`lektricheskix mashin na e`lektrovoze 2E`S5K v usloviyax asimmetrichnogo pitaniya / A.S. Girnik, O.L. Rapoport // Izv. Tomskogo politexn. un-ta. – 2009. – T. 314. – # 4. – S. 69–73. – In Russian.

2. Rutshtejn A.M. Reguliruemy`j vspomogatel`ny`j e`lektroprivod e`lektrovoza E`P1 / A.M. Rutshtejn // E`lektrovozostroenie: sb. nauch. tr. – 1998. – T. 40. – S. 213–221. – In Russian.

3. Model` asinxronnogo e`lektroprivoda, vy`polnennaya v sisteme OrCAD 9.2 / M.Yu. Pustovetov [i dr.] // Optimizaciya rezhimov raboty` sistem e`lektroprivodov: mezhvuz. sb. nauch. tr. / KGTU. – Krasnoyarsk, 2002. – S. 42–51. – In Russian.

4. Sipajlov G.A. Teplovy`e, gidravlicheskie i ae`rodinamicheskie raschyoty` v e`lektricheskix mashinax: uchebnik dlya vuzov po special`nosti «E`lektromexanika» / G.A. Sipajlov, D.I. Sannikov, V.A. Zhadan. – M.: Vy`sshaya shkola, 1989. – 239 s. – In Russian.

5. Proektirovanie e`lektricheskix mashin: uchebnik dlya vuzov. V 2 kn. Kn. 1 / pod red. I.P. Kopy`lova. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: E`nergoatomizdat, 1993. – 464 s. – In Russian.

6. Jinhwan J. A Vector Control Scheme for EV Induction Motors with a Series Iron Loss Model / Jinhwan Jung, Kwanghee Nam // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – Vol. 45. – No. 4. – August 1998. – P. 617–624.

7. Onishhenko G.B. E`lektricheskij privod: uchebnik dlya vuzov / G.B. Onishhenko. – M.: RASXN, 2003. – 320 s. – In Russian.

8. Ukrainskij E`.V. Sovershenstvovanie vspomogatel`ny`x e`lektricheskix mashin podvizhnogo sostava / E`.V. Ukrainskij // E`lektrovozostroenie: sb. nauch. tr. – 2003. – T. 45. – S. 122–131. – In Russian.

9. Rutshtejn A.M. Sistema pitaniya vspomogatel`ny`x cepej magistral`nogo e`lektrovoza postoyannogo toka ot staticheskogo preobrazovatelya / A.M. Rutshtejn // Vestn. VE`lNII. – 2005. – T. 2 (49). – S. 128–141. – In Russian.

10. Korotkevich M.A. Osnovy` e`kspluatacii e`lektricheskix setej: ucheb. posobie / M.A. Korotkevich. – Minsk: Vy`shaya shkola, 1999. – 267 s. – In Russian.

11. Finley W.R. Selection of Copper vs. Aluminum Rotors for Induction Motors / William R. Finley, Mark M. Hodowanec // Paper No. PCIC-2000-19 [Electronic resource] URL: http://www.sea.siemens.com/us/internet-dms/dt/ElectricMotorsComm/ElectricMotors/Docs.

ON DYNAMICS OF THERMAL PROCESSES IN INDUCTION MOTOR UNDER SUPPLY VOLTAGE UNBALANCE

M.Y. PUSTOVETOV
(Don State Technical University),
I.V. SINYAVSKIY
(All-Russian Scientific Research and Design-and-Engineering Institute for Electric Locomotive Building (JSC «VElNII», Novocherkassk))

Some questions of the thermal process characteristics in the induction motor under its feeding with the asymmetrical voltage system are considered. The results of the heating dynamics computing are presented. The occurrence of the hazardous thermal performance is discussed.
Keywords: *unsymmetrical 3-phase voltage system, induction motor, heating.*

УДК 631.354:631.362.36

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ В ВОЗДУШНО-РЕШЕТНОЙ ОЧИСТКЕ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Ю.И. ЕРМОЛЬЕВ, Д.К. МУРАТОВ
(Донской государственный технический университет)

Приведена методология оценки параметров воздушных потоков в воздушно-решетной очистке зерноуборочного комбайна с двухсекционным вентилятором, показана целесообразность использования двухсекционного вентилятора в воздушно-решетной очистке зернокомбайна.
Ключевые слова: *воздушно-решетная очистка зерноуборочного комбайна, двухсекционный вентилятор, воздуховод, дефлектор, воздушный поток, решета.*

Введение. Одним из возможных путей повышения эффективности сепарации воздушно-решетных очисток следует считать создание рациональных воздушных потоков в их камере. Структура воздушных потоков и распределения величин их скоростей над решетами в основном зависят от конструкции вентилятора и его воздуховода.

Постановка задачи: оценить рациональные параметры дефлекторов и режимы работы двухсекционного центробежного вентилятора, оптимизировать воздушные потоки в горловине вентилятора, обеспечив их качественное распределение над решетами воздушно-решетной очистки зерноуборочного комбайна.

Методы исследования: стендовые исследования центробежных вентиляторов различной конструкции на макете воздушно-решетной очистки зерноуборочного комбайна, многомерный анализ, моделирование воздушных потоков в горловине вентилятора и их последующее распределение над решетами.

Математическая модель процесса формирования воздушных потоков на выходе из воздуховода вентилятора. Известно, что неравномерность воздушного потока по ширине камеры воздушно-решетной очистки зерноуборочного комбайна предопределяет необходимость снижения скорости воздушного потока в зоне обдува решет (для снижения потерь зерна после очистки), что ухудшает процесс сегрегации мелкого зернового вороха и снижает качество его сепарации.

Изменение структуры воздушного потока возможно при изменении конструкции центробежных вентиляторов с целью обеспечения качественного поступления воздушного потока на крылачи вентилятора и рационального распределения воздушного потока в воздуховоде вентилятора.

Предварительные исследования показали рациональность распределения воздушного потока в воздуховоде вентилятора на трех воздушных потока. Рассмотрим общий случай формирования трех воздушных потоков в воздуховоде с прямоугольной формой.

Введем обозначения: F_1, F_2, F_3 – площади входных отверстий в воздуховоде вентилятора, поделенном дефлекторами; F_{1B}, F_{2B}, F_{3B} – площади выходных отверстий в воздуховоде вентилятора, поделенном дефлекторами; B – ширина воздуховода вентилятора; h – высота начала воздуховода вентилятора (перед дефлекторами); K_3 – коэффициент сопротивления средней скорости V_3 воздушного потока для преодоления сопротивления верхнего решета; K_2 – коэффициент сопротивления средней скорости V_2 воздушного потока для преодоления сопротивления верхнего и части нижнего решета; K_1 – коэффициент сопротивления средней скорости V_1 воздушного потока для преодоления сопротивления верхнего и нижнего решета.

Для анализа примем допущения:

– воздушный поток в воздуховоде близок к ламинарному;

– сопротивление воздушному потоку в воздуховоде, учитывая его незначительные размеры и простоту конструкции, не учитываем;

– расход воздуха на входе (перед дефлектором) $Q_{ВХ}$ равен расходу воздуха на выходе $Q_{ВЫХ}$ из воздуховода вентилятора;

– в пределах струй воздушных потоков до и после дефлекторов расход воздуха определяется по поперечному сечению воздуховода.

При известных зависимостях скоростей $V(n)$ воздушных потоков в сечении А-А воздуховода вентилятора от числа n оборотов его крылача и координаты y (рис. 1)

$$V(n) = f_i(y) = a_i y^2 + b_i y + c_i \tag{1}$$

(для каждой $i \equiv n_{об/мин}$ крылача вентилятора) были получены выражения для оценки необходимых скоростей $V_1(n)$, $V_2(n)$, $V_3(n)$ воздушных потоков на выходе из воздуховода вентилятора при задаваемых скоростях V_{1P}, V_{2P}, V_{3P} воздушных потоков над соответствующими участками верхнего решета воздушно-решетной очистки для задаваемых условий сепарации мелкого зернового вороха:

$$V_1(n) = V_{1P}K_1 = \frac{\int_0^{y_1} f_i(y)dy}{Y_{1B}} = \frac{\frac{a_i}{3}\left(y_1^3 - y_0^3\right) + \frac{b_i}{2}\left(y_1^2 - y_0^2\right) + c_i\left(y_1 - y_0\right)}{Y_{1B}}; \tag{2}$$

$$V_2(n) = V_{2P}K_2 = \frac{\int_{y_1}^{y_2} f_i(y)dy}{Y_{2B}} = \frac{\frac{a_i}{3}\left(y_2^3 - y_1^3\right) + \frac{b_i}{2}\left(y_2^2 - y_1^2\right) + c_i\left(y_2 - y_1\right)}{Y_{2B}}; \tag{3}$$

$$V_3(n) = V_{3P}K_3 = \frac{\int_{y_2}^{h} f_i(y)dy}{Y_{3B}} = \frac{\frac{a_i}{3}\left(h^3 - y_2^3\right) + \frac{b_i}{2}\left(h^2 - y_2^2\right) + c_i\left(h - y_2\right)}{Y_{3B}}. \tag{4}$$

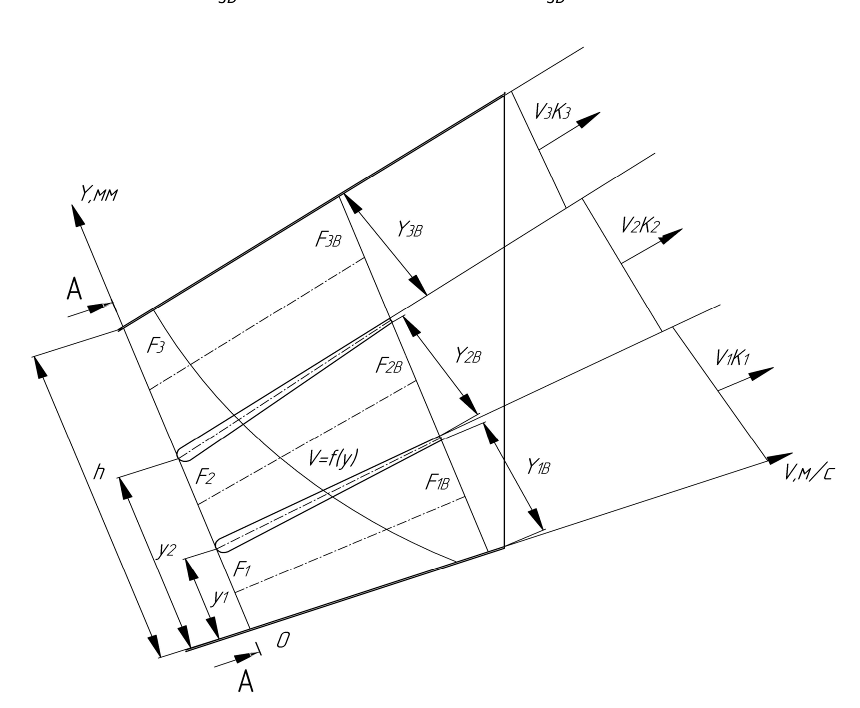


Рис. 1. Схема прямоугольного воздуховода с двумя дефлекторами

Для расчета коэффициентов сопротивления K использованы средние величины скоростей воздушных потоков на участках в торце двухсекционного вентилятора и средние величины скоро-

стей воздушных потоков на соответствующих участках (рис. 2) над верхним решетом воздушно-решетной очистки (табл. 1).

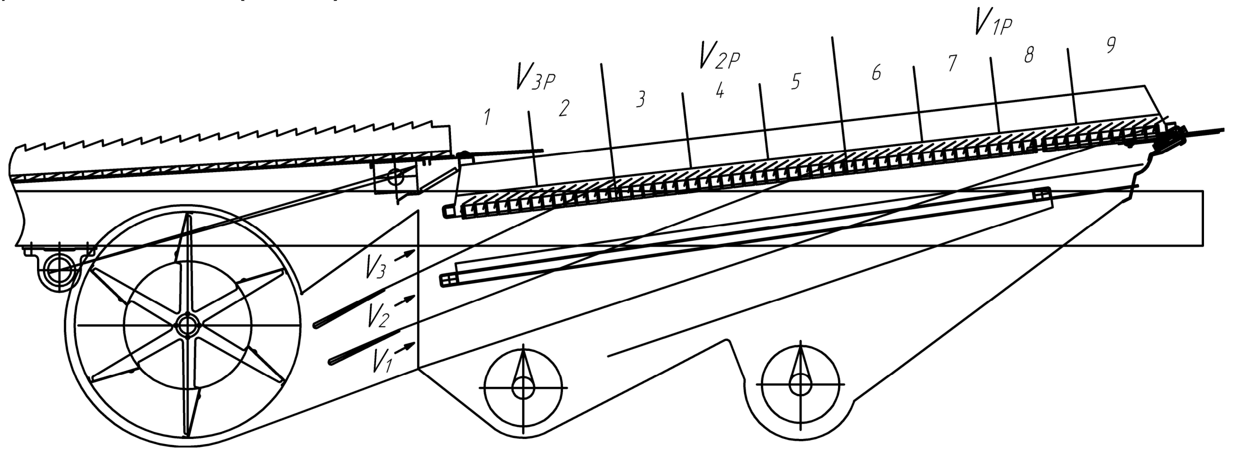


Рис. 2. Схема воздушно-решетной очистки для определения коэффициентов снижения скоростей воздушных потоков при прохождении решет

Таблица 1

Изменение коэффициентов сопротивления K средней скорости V_P воздушного потока над верхним решетом

Деление сечения торца воздуховода вентилятора по высоте	Частота вращения крылача вентилятора, мин$^{-1}$				
	500	600	700	800	900
	Средние величины скорости воздушного потока на выходе воздуховода вентилятора, м/с				
V_3	7,18	8,27	9,33	10,06	11,37
V_2	10,53	11,71	13,60	15,82	17,14
V_1	13,79	14,81	16,23	19,75	20,70
	Средние величины скорости воздушного потока над верхним решетом по его длине, м/с				
V_{3P}	3,74	4,18	4,73	5,16	5,72
V_{2P}	2,52	3,05	3,43	3,87	4,36
V_{1P}	2,24	2,50	2,66	3,22	3,51
	Коэффициенты сопротивления K средней скорости V_P воздушного потока над верхним решетом				
K_3	1,92	1,98	1,97	1,95	1,99
K_2	4,18	3,84	3,97	4,09	3,93
K_1	6,16	5,92	6,10	6,13	5,90

Оценка различий величин K_i для различных частот n вращения крылача вентилятора (n = 500–900 мин$^{-1}$) по t-критерию Стьюдента [1] показала их статистическую незначимость, следовательно, в первом приближении применительно к конструкции рассматриваемой воздушно-решетной очистки (см. рис. 2) можно принять:

$$K_3 = \frac{V_3}{V_{3P}} \approx 2\,;\; K_2 = \frac{V_2}{V_{2P}} \approx 4\,;\; K_1 = \frac{V_1}{V_{1P}} \approx 6\,,$$

где V_{3P}, V_{2P}, V_{1P} – необходимые скорости воздушного потока над соответствующими участками (1-2; 3-5 и 6-9) поверхности верхнего решета в зависимости от вида очищаемой культуры.

Учитывая технологические свойства мелкого вороха сельскохозяйственных материалов, поступающих на воздушно-решетную очистку зерноуборочного комбайна во время уборки, выявляем рациональное распределение скоростей воздушных потоков над поверхностью верхнего решета.

Определяем экспериментально коэффициенты сопротивления средней скорости воздушного потока для преодоления сопротивления решет как отношение скорости воздушного потока на выходе из воздуховода вентилятора к скорости воздушного потока над поверхностью решета.

Определяем зависимости (1) изменения скоростей воздушного потока по высоте воздуховода вентилятора в сечении А-А перед дефлекторами (см. рис. 1) при различной частоте *n* вращения крылача.

Разделяем горловину вентилятора в сечении А-А (перед дефлекторами) на необходимое количество равных *i*-ых участков по высоте, равное *i*-му количеству принятых участков над верхним решетом с примерно равными для *i*-го участка задаваемыми скоростями воздушных потоков V_{iP}.

Используя метод итераций, варьируя величинами Y_{1B}, Y_{2B}, Y_{3B} (см. рис. 1) и частотой *n* оборотов крылача вентилятора, рассчитываем параметры установки дефлекторов в горловине вентилятора, используя интегральные зависимости (2) – (4) и нелинейные уравнения регрессии, в виде полинома второго порядка (5) – (9), описывающие зависимость скорости воздушного потока в горловине вентилятора от высоты *y* воздуховода в его сечении А-А (перед дефлекторами), конструкции вентилятора и частоты *n* вращения его крылача.

На макете воздушно-решетной очистки комбайна «Дон-1500Б» были проведены замеры полей скоростей на внутреннем сечении А-А (см. рис. 1, перед дефлекторами) воздуховода для различных частот *n* оборотов крылача двухсекционного вентилятора (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид двухсекционного вентилятора

После аппроксимации совокупностей полученных выборок установлены зависимости изменения скоростей воздушного потока по высоте *y* воздуховода в сечении А-А перед дефлекторами (см. рис. 1) для различных *n* в виде полиномов второго порядка:

$$V(500) = 267{,}68y^2 - 116{,}1y + 20{,}055\,; \quad (5)$$

$$V(600) = 272{,}84y^2 - 117{,}77y + 21{,}301\,; \quad (6)$$

$$V(700) = 230y^2 - 109{,}94y + 22{,}815\,; \quad (7)$$

$$V(800) = 289,49y^2 - 143y + 27,986\,; \qquad (8)$$

$$V(900) = 285,01y^2 - 140,43y + 28,995\,. \qquad (9)$$

Экспериментально поисковые исследования с использованием вышеизложенной методики, исходя из полученных характеристик воздушных потоков по высоте на входе воздуховода двухсекционного вентилятора и обеспечения рационального обдува воздушными потоками с заданными скоростями V_{iP} участков верхнего решета для условий очистки вороха зерна пшеницы (см.табл.1, n = 800 мин$^{-1}$), выявили рациональные координаты установки передней части дефлекторов (в воздуховоде) в соотношении $\frac{y_1}{h} = 0,27$ и $\frac{y_2}{h} = 0,57$.

Установлено, что построенные математические модели (2)–(9) с 95%-й доверительной вероятностью адекватно описывают процесс распределения скоростей воздушных потоков над верхним решетом воздушно-решетной очистки и возможно их использование для многомерного анализа и математического моделирования рассматриваемых технологических процессов.

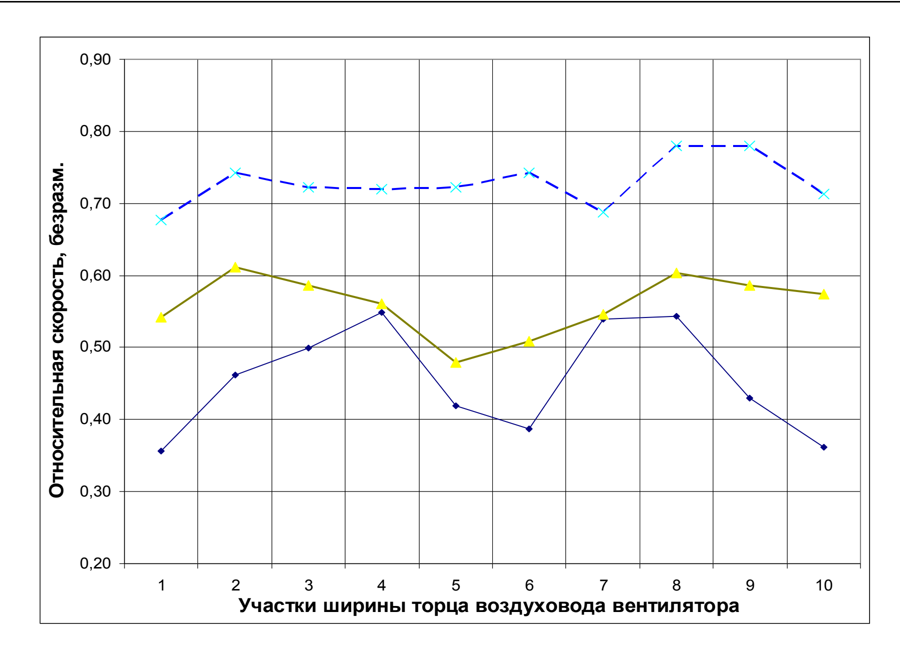
Задавшись скоростями воздушных потоков над верхним решетом воздушно-решетной очистки (см. рис. 2) на участке 1, 2 V_{3P}= 5,5 м/с, на участке 3, 4, 5 V_{2P} = 3,5 м/с и на участке 6, 7, 8, 9 V_{1P}= 3 м/с, из выражений (2) – (4) для условия n = 800 мин$^{-1}$ определили координаты установки дефлекторов Y_{3B}, Y_{2B} и Y_{1B} (см. табл. 2).

Качество воздушного потока на выходе из вентилятора характеризуется графиком изменения относительной скорости $\overline{C}$ по сечениям и коэффициентом неравномерности поля скоростей (коэффициентом вариации) C_σ. Расчетные величины этих показателей сведены в табл. 2 и показаны на рис. 4.

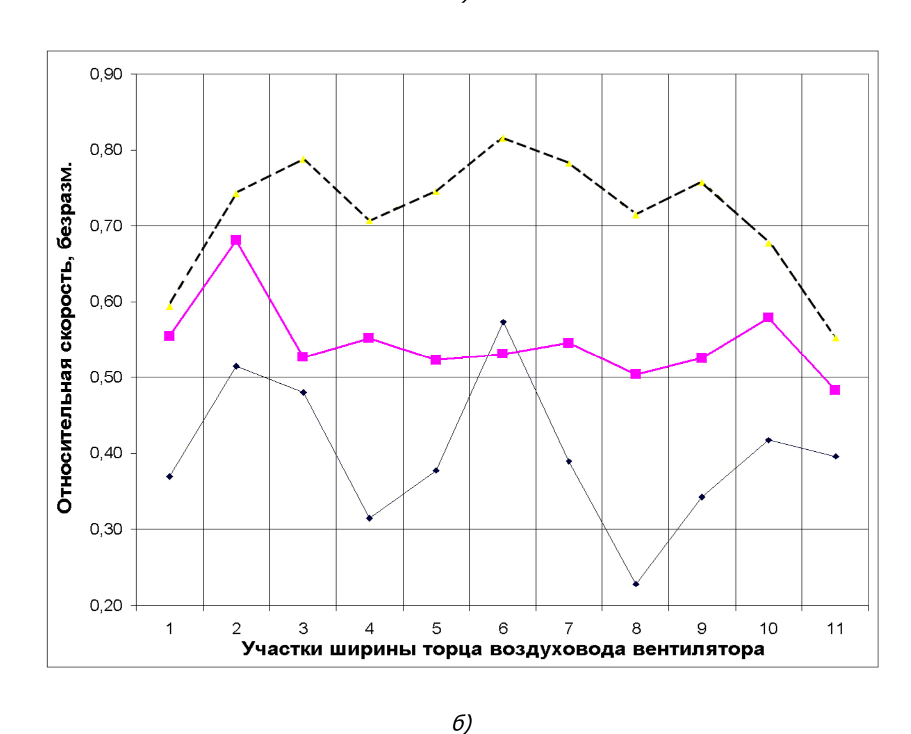
Таблица 2

Сравнение коэффициентов вариации скоростей воздушного потока по горизонтальным участкам торцов воздуховодов сравниваемых вентиляторов воздушно-решетной очистки, частота вращения крылачей вентилятора, n = 800 мин$^{-1}$

Номер п/п	Деление торца воздуховода вентилятора по высоте	Коэффициенты вариации скоростей воздушного потока по горизонтальным участкам воздуховода		Соотношение величин коэффициентов вариации, %
		Прототип	Двухсекционный	
1	Y_{3B} = 0,122 м	21,50	13,40	37,67
		24,25	16,59	31,59
		24,62	15,76	35,99
		21,35	14,80	30,68
		23,59	15,07	36,12
		23,46	15,10	35,64
	Среднее, м/с	22,84	14,89	34,81
2	Y_{2B} = 0,094 м	9,43	9,16	2,86
		9,15	7,96	13,01
		10,36	8,29	19,98
		9,74	9,28	4,72
		9,35	9,47	-1,28
		8,29	8,79	-6,03
	Среднее, м/с	9,03	6,77	25,03
3	Y_{1B} = 0,098 м	11,00	4,02	63,45
		11,03	3,89	64,73
		10,70	4,12	61,50
		10,94	4,87	55,48
		10,86	4,38	59,67
		11,24	4,73	57,92
	Среднее, м/с	10,86	4,21	61,23



а)



б)

Рис. 4. Изменения величин относительных скоростей по ширине у наружного торца воздуховода двухсекционного вентилятора (*а*) и вентилятора-прототипа (*б*) при n = 800 мин$^{-1}$

Установлено, что коэффициенты вариации по ширине у двухсекционного вентилятора ниже, чем у вентилятора прототипа (табл. 2 и рис. 5, 6). Например, при оборотах n = 800 мин$^{-1}$ (уборка зерновых) средний коэффициент вариации по участкам для прототипа и двухсекционного вентиляторов соответственно 14,24 и 8,62, что соответствует снижению коэффициента вариации у двухсекционного вентилятора на 40%.

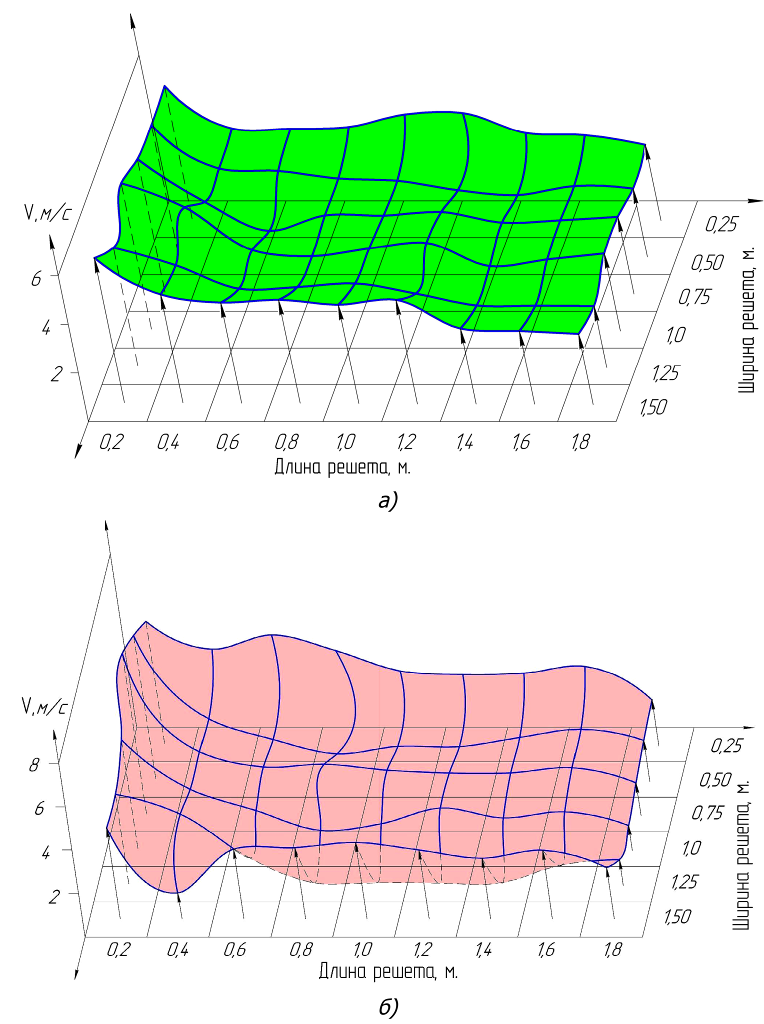


Рис. 5. Средние скорости воздушного потока над верхним решетом воздушно-решетной очистки с двухсекционным вентилятором (*а*) и с вентилятором-прототипом (*б*), м/с, при n = 800 мин$^{-1}$

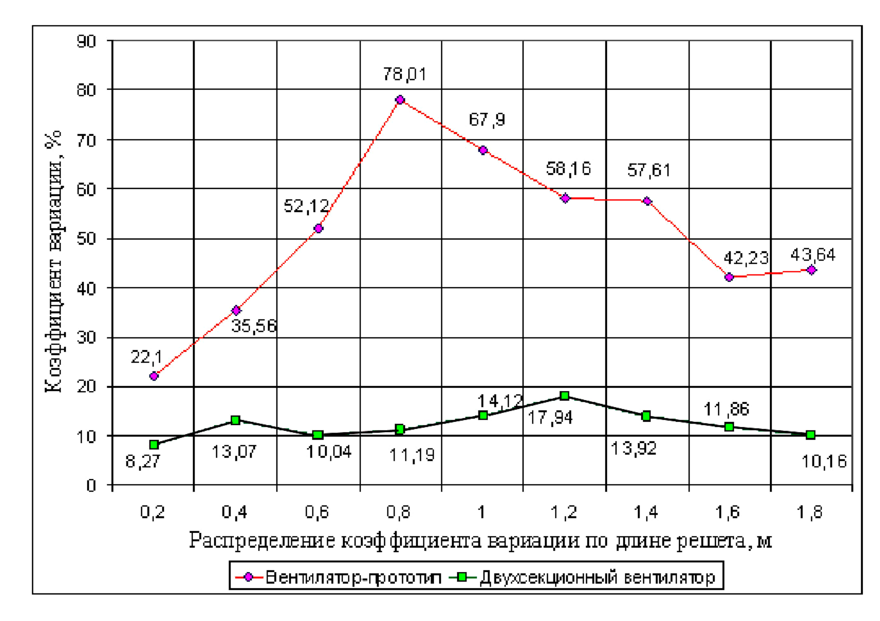


Рис. 6. Изменение коэффициентов вариации скоростей воздушного потока по ширине и длине верхнего решета ВРО зерноуборочного комбайна при использовании различных вентиляторов при n = 800 мин$^{-1}$

Выводы:

1. Разработана методика установки дефлекторов в прямоугольной горловине двухсекционного вентилятора и рассчитаны их рациональные параметры применительно к воздушно-решетной очистке мелкого зернового вороха пшеницы. Выявлены координаты установки передней части дефлекторов: y_3 = 0,286 м; y_2 = 0,162 м; y_1 = 0,076 м и выходные координаты Y_{3B} = 0,122 м; Y_{2B} = 0,094 м; и Y_{1B} = 0,098 м при высоте воздуховода h = 0,4 м.

2. Анализ структуры и скоростей воздушных потоков на выходе воздуховодов исследуемых вентиляторов показал, что в среднем структура воздушных потоков у двухсекционного вентилятора более равномерная по всей высоте воздуховода, чем у вентилятора прототипа. В среднем коэффициенты вариации скоростей воздушных потоков по горизонтальным участкам воздуховода двухсекционного вентилятора составляют от 3,89 до 16,59, а для вентилятора прототипа от 8,29 до 24,62. Среднее уменьшение этих коэффициентов вариации для двухсекционного вентилятора меньше, чем у вентилятора прототипа на 40%.

3. Анализ рабочих воздушных потоков над верхним решетом воздушно-решетной очистки показал, что величины коэффициента вариации скоростей воздушных потоков по поперечным участкам ширины решета меньше и более устойчивы при использовании двухсекционного вентилятора, чем прототипа. Среднее снижение величины коэффициента вариации по всем участкам двухсекционного вентилятора составило 74%.

4. Снижение коэффициентов вариации скоростей воздушных потоков по поперечным участкам ширины решет обеспечивает рост средних скоростей воздушных потоков по ширине участков решет, рост сегрегации мелкого зернового вороха на решетах, что, в конечном итоге, обусловливает рост производительности и повышение качества вороха в воздушно-решетной очистке.

Библиографический список

1. Ермольев Ю.И. Основы научных исследований в сельскохозяйственном машиностроении: учеб. пособие / Ю.И. Ермольев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 243 с.

2. Турбин Б.Г. Вентиляторы сельскохозяйственных машин / Б.Г. Турбин. – Л.: Машиностроение, 1967.

3. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / под ред. М.И. Клецкина. – М.: Машиностроение, 1966.

4. Научные основы проектирования сельскохозяйственных машин: сб. ст. / РИСХМ. – Ростов н/Д, 1980.

5. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973.

6. Сычугов Н.П. Вентиляторы. Классификация, основы теории, характеристики, пересчет характеристик, регулирование, выбор и снятие характеристик: учеб. пособие / Н.П. Сычугов. – М., 1970.

Материал поступил в редакцию 25.04.11.

References

1. Ermol`ev Yu.I. Osnovy` nauchny`x issledovanij v sel`skoxozyajstvennom mashinostroenii: ucheb. posobie / Yu.I. Ermol`ev. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2003. – 243 s. – In Russian.
2. Turbin B.G. Ventilyatory` sel`skoxozyajstvenny`x mashin / B.G. Turbin. – L.: Mashinostroenie, 1967. – In Russian.
3. Spravochnik konstruktora sel`skoxozyajstvenny`x mashin / pod red. M.I. Klyoczkina. – M.: Mashinostroenie, 1966. – In Russian.
4. Nauchny`e osnovy` proektirovaniya sel`skoxozyajstvenny`x mashin: sb. st. / RISXM. – Rostov n/D, 1980. – In Russian.
5. Korn G. Spravochnik po matematike dlya nauchny`x rabotnikov i inzhenerov / G. Korn, T. Korn. – M.: Nauka, 1973. – In Russian.
6. Sy`chugov N.P. Ventilyatory`. Klassifikaciya, osnovy` teorii, xarakteristiki, pereschyot xarakteristik, regulirovanie, vy`bor i snyatie xarakteristik: ucheb. posobie / N.P. Sy`chugov. – M., 1970. – In Russian.

MODELING OF CENTRIFUGAL FAN PERFORMANCE IN AIR-SCREEN SEPARATOR OF COMBINE HARVESTER

Y.I. ERMOLYEV, D.K. MURATOV
(Don State Technical University)

The methodology of evaluating airflow parameters in the air-screen separator of the combine harvester with the two-section fan is described. The applicability of the two-section fan in the air-screen separator of the combine harvester is shown.
Keywords: *air-screen separator of combine harvester, two-section fan, air line, deflector, airflow, screen.*

УДК 621.92.048.6

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЦЕНТРОБЕЖНО-РОТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

Ю.В. КОРОЛЬКОВ
(Донской государственный технический университет)

Усовершенствованы теоретико-вероятностные модели процесса съема металла и формирования качества поверхностного слоя при обработке свободным абразивом. Процесс центробежно-ротационной обработки (ЦРО) в среде свободного абразива рассмотрен с позиции надежности. Проведен комплекс исследований влияния интенсивности износа абразивных гранул на надежность технологического процесса (ТП) ЦРО в среде свободного абразива и образования устойчивого тороидально-винтового потока. Определены показатели, влияющие на количественную оценку надежности ТП.
Ключевые слова: *надежность ТП, съем металла с поверхности детали, качество поверхностного слоя, интенсивность износа.*

Введение. Вопросы надежности приобретают все более высокую значимость в самых различных сферах человеческой деятельности. Особую ценность имеет решение проблемы обеспечения надежности в промышленном производстве, где задача достижения требуемого качества изделий и производительности производственного процесса сопряжена с ограниченностью ресурсов и необходимостью минимизации их затрат.

Технический прогресс характеризуется быстро растущими требованиями к точности размеров и геометрической форме деталей и качеству их поверхности. Анализ применяемых в машиностроении ТП показывает, что они подчиняются закономерностям, знание которых необходимо для прогнозирования и эффективного управления. Наиболее часто используемыми методами анализа ТП в настоящее время являются статистические оценки качества создаваемых изделий и математическое описание технологических процессов. Большое количество работ посвящено обеспечению надежности технологического оборудования [1, 2] и надежности технологических процессов лезвийной обработки [3], однако отсутствуют работы по обеспечению и повышению надежности технологических процессов обработки свободными абразивами.

При финишной обработке большой номенклатуры деталей хорошие результаты обеспечивает использование методов объемной обработки свободным абразивом. В настоящее время накоплен обширный теоретический и экспериментальный опыт использования обработки в среде свободного абразива [4–6]. Высокая производительность и широкие технологические возможности – это отличительная особенность центробежно-ротационной обработки (ЦРО). ЦРО в среде свободного абразива позволяет производить обработку с высокой плотностью абразивных гранул в тороидально-винтовом потоке, что обеспечивает одно из основных требований – сплошность покрытия царапинами, при этом наличие охлаждающей жидкости исключает локальный нагрев обрабатываемой поверхности. Обработка отличается простотой оборудования, малой металло- и энергоемкостью, а также универсальностью, ввиду того, что реализуется на станках, используемых также для упрочняющей ЦРО без каких-либо изменений лишь путем замены обрабатывающей среды.

Цель исследований. Повышение надежности технологического процесса ЦРО в среде абразива с учетом нарушения стабильности тороидально-винтового потока, исследования возникающих отказов и интенсивности износа рабочей среды.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– определение технологических факторов, влияющих на надежность технологического процесса ЦРО в среде абразива;

– исследование процесса ЦРО как объекта управления, определение входных и выходных переменных и их классификация;

– исследование отказов, возникающих в ходе ТП ЦРО в среде абразива;

– исследование нарушения стабильного тороидально-винтового потока;

– теоретические исследования показателей, влияющих на количественную оценку надежности ТП ЦРО в среде абразива;

– исследование влияния объема подаваемой смазочно-охлаждающей жидкости на интенсивность износа абразивных гранул;

– определение влияния интенсивности износа абразивных гранул на обеспечение качества обработки и стабильность тороидально-винтового потока;

– разработка методики проектирования ТП с учетом надежности.

Впервые проведены исследования процессов обработки в среде свободного абразива с точки зрения надежности: параметры, оказывающие влияние на количественную и качественную оценку надежности процесса ЦРО в среде абразива; процессы ЦРО в среде абразива как объекта управления; входные и выходные параметры, а также параметры, характеризующие условия реализации технологии, и их классификация; влияние объема подаваемой смазочно-охлаждающей жидкости на интенсивность износа абразивных гранул; диапазоны регулирования частоты вращения ротора и объема загрузки рабочей камеры для обеспечения образования устойчивого тороидально-винтового потока; отказы, возникающие в ходе технологического процесса; влияния режимов обработки и величины допуска на деталь на стабильность надежности технологического процесса.

В ходе теоретических и экспериментальных исследований определены причины отказов технологического процесса ЦРО в среде абразива, характеристики абразивных гранул, используемых при обработке, исследовано влияние режимов резания на режущую способность абразивных гранул. Определен диапазон регулирования частоты вращения ротора и объема загрузки рабочей камеры, при котором происходит образование устойчивого тороидально-винтового потока на станке ЦРС-7 в среде абразива различных характеристик. Получены зависимости для определения времени пополнения массы загрузки рабочей камеры абразивными гранулами и их объема. Описана методика проектирования технологических процессов с учетом надежности.

ТП ЦРО и определение его надежности. Методы обработки свободными абразивами в зависимости от характера воздействия абразивных частиц на поверхность обрабатываемой детали можно разделить на несколько основных групп: со скольжением частиц, с их соударением, направленным потоком частиц, в потоке свободного абразива. Сущность метода ЦРО состоит в том, что гранулированный наполнитель *3* и обрабатываемые детали *4* загружаются в рабочую камеру и приводятся во вращательное движение вокруг вертикальной оси таким образом, что вся масса загрузки приобретает форму тора. Тороидально-винтовой поток обеспечивается конструкцией рабочей камеры, состоящей из неподвижной цилиндрической вертикально расположенной обечайки *1* и примыкающего к ней вращающегося дна (ротора) *2*, имеющего форму тарели (рис. 1).

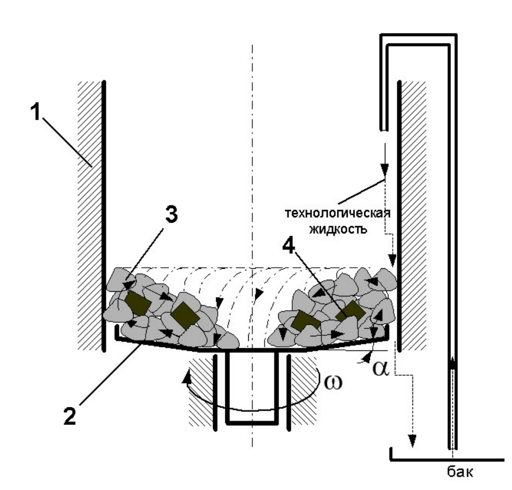


Рис. 1. Схема процесса ЦРО: 1 – обечайка рабочей камеры; 2 – вращающееся дно ротора; 3 – абразивный наполнитель; 4 – обрабатываемые детали

Анализ работ авторов, занимающихся надежностью ТП и оборудования и обработкой в абразивных средах, А.П. Бабичева, М.А. Тамаркина, В.О. Трилисского, И.В. Давыдовой, А.И. Сиделевой, А.А. Андросова, А.А. Рыжкина, И.В. Апполонова, Г.Д. Григорьяна,

П.В. Дубровского, Д.Р. Бикпавленовой, И.В. Харченко показал, что результаты, полученные следователями, недостаточно полно описывают процесс ЦРО в среде абразива и не дают оценку надежности технологического процесса при обработке абразивными средами. Большим препятствием при проектировании и внедрении техпроцессов для метода ЦРО является недостаточная изученность особенностей взаимодействия гибкой гранулированной абразивной среды с поверхностью деталей: нет примеров расчета надежности ТП и влияния формирующихся отказов.

В ходе теоретических исследований процесс ЦРО в среде свободного абразива рассмотрен как объект управления, определены параметры, характеризующие входные и выходные переменные ТП и условия его реализации (рис.2).

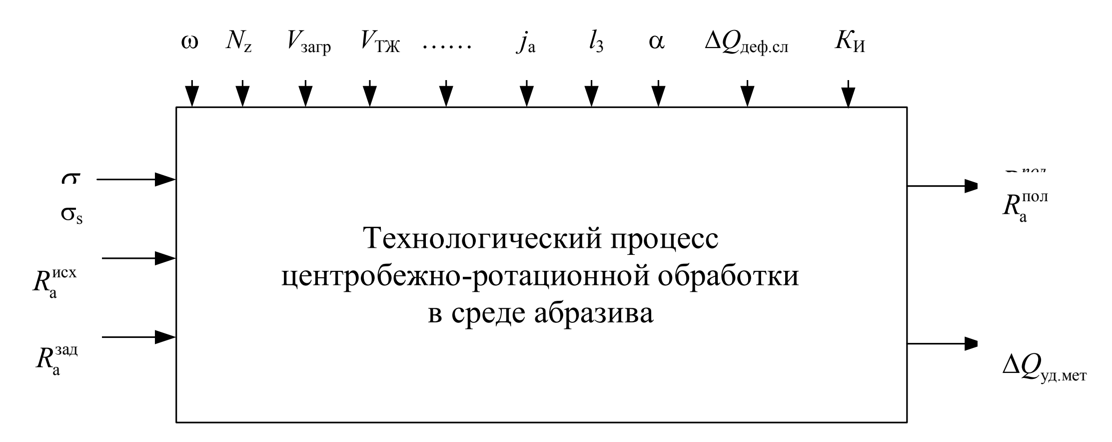


Рис. 2. Схема ТП ЦРО в среде абразива как объект управления: σ_s – предел текучести материалов; N_z – зернистость абразивных гранул; $V_{ТЖ}$ – объем подаваемой смазочно-охлаждающей жидкости; $K_И$ – коэффициент интенсивности изменения шероховатости

Значимыми доминирующими факторами, оказывающими наиболее сильное влияние на выходные переменные объекта управления, являются:

– факторы, связанные с заготовкой, поступающей на обработку;
– режимы обработки;
– характеристики оборудования;
– характеристики рабочей среды;
– человеческий фактор.

С учетом влияния объема загрузки рабочей камеры и объема подаваемой смазочно-охлаждающей жидкости установлена зависимость для расчета среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости и расчета съема металла с поверхности детали:

$$R_a = 0,09 k_{СОЖ} k_z \sqrt{\frac{h_{max}}{L_{ед} z_0}}, \quad (1)$$

$$Q = P_1 P_2 k_{СОЖ} k_z \omega tq \frac{S_{дет}}{4R^2} \text{ при } S_{дет} > 4R^2,$$
$$Q' = P_1' P_2 k_{СОЖ} k_z \omega tq \text{ при } S_{дет} < 4R^2, \quad (2)$$

где h_{max} – максимальная глубина внедрения частицы, мкм; z_0 – номинальное количество абразивных зерен на единице поверхности абразивной гранулы; $k_{СОЖ}$ – коэффициент, учитывающий влияние объема подаваемой смазочно-охлаждающей жидкости; k_z – коэффициент, учитывающий влияние объема загрузки рабочей камеры; $S_{дет}$ – площадь обрабатываемой детали, мм^2; ω – частота воздействия, Гц; t – время обработки, с; R – размер абразивной гранулы, мкм; P_1 – геометрическая вероятность события, заключающегося в том, что любая точка квадрата упаковки покрывается пятном контакта за один цикл воздействия массы абразивных частиц;

P_2 – вероятность события, заключающегося в том, что взаимодействие абразивной частицы с поверхностью детали приведет к микрорезанию, q – съем металла при единичном взаимодействии, г; $L_{ед}$ – глубина внедрения единичной гранулы.

С использованием индивидуальных показателей определены показатели количественной оценки надежности:

– вероятность безотказного функционирования;
– вероятность потока отказов;
– плотность распределения отказов;
– интенсивность потока отказов;
– средняя наработка на отказ;
– параметр потока отказов.

Интенсивность износа абразивных гранул оказывает существенное влияние на объем загрузки рабочей камеры станка в ходе выполнения ТП. С увеличением интенсивности износа абразивных гранул происходит уменьшение объема загрузки рабочей камеры абразивной средой в процессе ее износа, вследствие чего изменяются режимы обработки и меняется значение шероховатости обрабатываемой поверхности, что влияет на устойчивость ТП (свойство сохранять во времени точность обеспечиваемого показателя качества изделия).

Для экспериментальных исследований использованы образцы из материалов с различным пределом текучести, применяемые в общем машиностроении и авиастроении, такие как сталь 45 и ХВГ, алюминиевый сплав Д16Т и медь МОБ.

Эксперименты проводили на станке для центробежно-ротационной обработки ЦРС-7. Обработка в среде абразива производилась «внавал». В качестве СОЖ использовался раствор кальцинированной соды.

Образцы обрабатывались в абразивных средах различной зернистости 8–12 (фарфоровые шары, призмы трехгранные абразивные ПТ, конусы абразивные на полимерной и керамической связках).

Проведены комплексные экспериментальные исследования по образованию устойчивого тороидально-винтового потока при ЦРО в рабочей камере станка ЦРС-7. Представлены диапазоны регулирования объема загрузки рабочей камеры станка и частоты вращения ротора, при которых сохраняется образование стабильного тороидально-винтового потока для абразивных сред различной зернистости и формы (рис. 3).

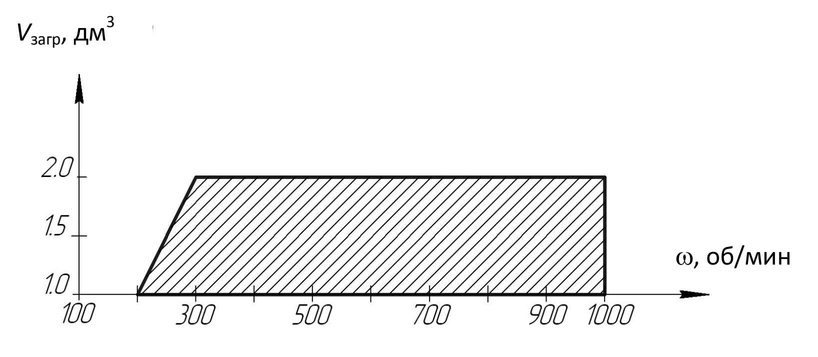


Рис. 3. Образование устойчивого тороидально-винтового потока в абразивной среде – фарфоровые шары (зернистость – F 150)

Определены показатели, влияющие на количественную и качественную оценку надежности ТП. Дальнейшие результаты представлены для ЦРО в среде свободного абразива образца из Стали 45 в среде фарфоровых шаров с $R_a^{зад}$ = 1,125 мкм.

1. Коэффициент точности (по контролируемому параметру)

$$K_{\text{т}} = \frac{\omega^{\text{р}}}{T} = 0{,}132\,, \qquad (3)$$

где $\omega^{\text{р}}$ – поле рассеяния или разность максимального и минимального значений контролируемого параметра за установленное (контрольное) время; T – допуск на контролируемый параметр.

Процесс или его элемент стабильно обеспечивают точность контролируемого параметра, если $K_{\text{т}} \le 1$.

2. Коэффициент мгновенного рассеивания (по контролируемому параметру)

$$K_{\rho}(\tau) = \frac{\omega^{\text{р}}(\tau)}{T} = 0{,}184\,, \qquad (4)$$

где $\omega^{\text{р}}(\tau)$ – поле рассеяния контролируемого параметра в момент времени τ.

3. Коэффициент смещения (контролируемого параметра)

$$K_{\text{см}}(\tau) = \frac{\overline{\Delta}(\tau)}{T} = 0{,}208\,, \qquad (5)$$

где $\overline{\Delta}(\tau)$ – среднее значение отклонения контролируемого параметра относительно середины поля допуска в момент времени т.

4. Коэффициент запаса точности (по контролируемому параметру)

$$K_{\text{з}}(\tau) = 0{,}5 - K_{\text{см}}(\tau) - 0{,}5K_{\rho}(\tau) = 0{,}2\,. \qquad (6)$$

При контроле точности должно выполняться условие: $K_{\text{з}}(\tau) > 0$.

В ходе расчетов установлено, что метод ЦРО в среде свободного абразива позволяет достаточно точно обрабатывать детали с достижением требуемого значения шероховатости поверхности при использовании рациональных режимов обработки.

В ходе исследований определено влияние интенсивности износа абразивных гранул на изменение объема загрузки рабочей камеры в процессе обработки, что, в свою очередь, влияет на обеспечение надежности ТП с учетом величины допуска на обрабатываемую поверхность.

Созданы банки данных интенсивности износа абразивных гранул в зависимости от объема загрузки рабочей камеры, частоты вращения ротора и объема подаваемой СОЖ.

На рис. 4, 5 представлены графики интенсивности износа абразивных сред в зависимости от изменения объема загрузки рабочей камеры и частоты вращения ротора.

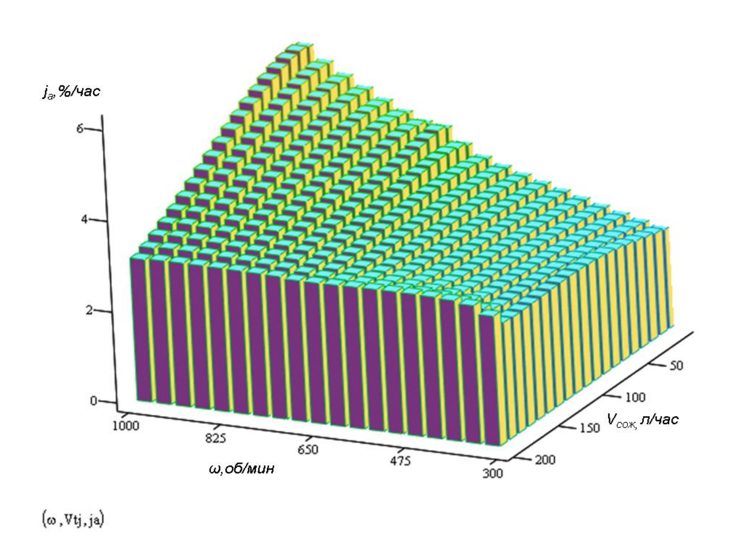


Рис. 4. Интенсивность износа абразивной среды – фарфоровые шары (F 150), объем загрузки рабочей камеры $V_З$ = 1 дм^3

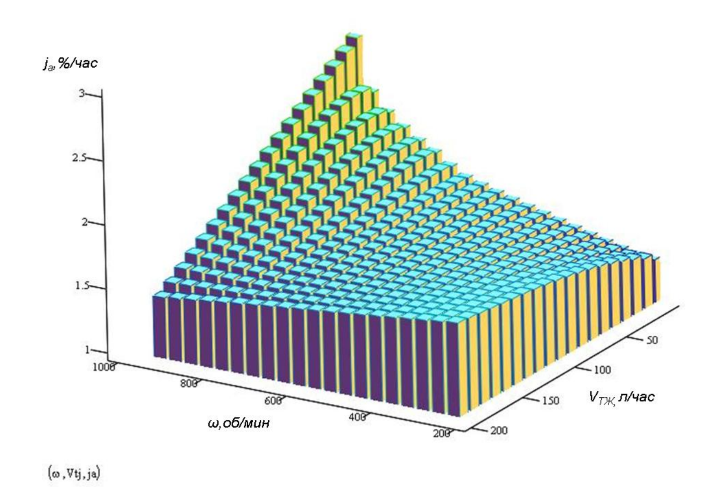


Рис. 5. Интенсивность износа абразивной среды – конусы абразивные 25×25 (F 120), объем загрузки рабочей камеры V_3 = 1 дм^3

Произведен расчет коэффициента $k_{СОЖ}$, учитывающего влияние объема подаваемой смазочно-охлаждающей жидкости на формирование шероховатости обработанной поверхности, создан банк данных данного коэффициента для абразивных сред различной зернистости в зависимости от объема загрузки рабочей камеры и частоты вращения ротора. При увеличении объема загрузки рабочей камеры коэффициент $k_{СОЖ}$ уменьшается в диапазоне от 1,4 до 0,92, при увеличении частоты вращения ротора коэффициент $k_{СОЖ}$ уменьшается в диапазоне от 1,4 до 1,04.

На основе анализа проведенных экспериментальных исследований были решены вопросы:

– по определению времени добавления порции абразивной среды:

$$t = \frac{V_0 - V_i}{V_0 j_а}, \qquad (7)$$

– расчета объема оставшейся абразивной среды после времени t:

$$V_i = V_0 - tj_аV_0 = V_0\left(1 - tj_а\right), \qquad (8)$$

где V_0 – объем абразивной среды перед обработкой, дм^3; V_i – объем абразивной среды после t часов обработки, дм^3; $j_а$ – интенсивность износа абразивных частиц.

Общие выводы. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

– максимальная режущая способность абразивных гранул соответствует обработке с максимальной производительностью;

– с увеличением частоты вращения ротора режущая способность абразивных гранул увеличивается;

– устойчивый тороидально-винтовой поток на станке ЦРС-7 образуется при частоте вращения ротора ω = 6,67–15 с$^{-1}$ и объеме загрузки рабочей камеры $V_{загр}$ = 1–2 дм^3;

– с увеличением зернистости $N_з$ установившаяся шероховатость поверхности $R_a^{уст}$ и съем металла Q увеличиваются;

– с увеличением частоты вращения ротора ω установившаяся шероховатость поверхности $R_a^{уст}$ и съем металла Q возрастают;

– с увеличением предела текучести материала детали установившаяся шероховатость $R_a^{уст}$ и съем металла Q уменьшаются;

– с увеличением объема загрузки рабочей камеры интенсивность износа увеличивается;

– с увеличением частоты вращения дна рабочей камеры интенсивность износа увеличивается;

– с увеличением зернистости абразивных гранул интенсивность износа увеличивается;

– смазочно-охлаждающая жидкость, вводимая в зону обработки, оказывает как положительное, так и отрицательное действие – она положительно влияет на процесс стружкоотделения, удаление продуктов износа из зоны обработки и формирование профиля шероховатости обработанной поверхности, однако при обработке с подачей $V_{ТЖ}$ = 200 л/ч интенсивность износа абразивных гранул ниже, чем при обработке с меньшим значением объема подаваемой СОЖ, что может свидетельствовать о появлении эффекта проскальзывания между обрабатываемыми деталями и абразивными гранулами в зоне контакта, в связи с чем ухудшаются процессы резания, и гранула не совершает полноценный процесс резания, причем с увеличением частоты вращения дна рабочей камеры эффект проскальзывания гранул увеличивается;

– при обработке без применения СОЖ наблюдается незначительный нагрев абразивных гранул и деталей, находящихся в рабочей камере, по окончании обработки поверхность абразивной среды и деталей покрыта тонкой пленкой с металлическими включениями, что говорит об отсутствии удаления продуктов износа из зоны обработки и ухудшении поверхностного слоя обработанной детали;

– наиболее рациональное применение СОЖ для ЦРО на станке ЦРС-7 в диапазоне 20–30 л/ч и скорости вращения дна рабочей камеры в диапазоне 8,3–13,3 $с^{-1}$;

– впервые проведены исследования по изучению влияния различных параметров процесса на надежность ТП ЦРО в среде абразива и его описание с точки зрения объекта управления;

- определены входные и выходные параметры технологического процесса ЦРО в среде абразива, а также параметры, учитывающие условия реализации ТП;

– определены диапазоны устойчивого тороидально-винтового потока в рабочей камере станка ЦРС-7 для абразивных сред различной формы и размеров. При увеличении объема загрузки рабочей камеры станка ЦРС-7 более 2–2,5 $дм^3$ происходит разрушение тороидально-винтового потока;

– произведен расчет показателей надежности после ЦРО в среде абразива, установлено, что ТП ЦРО в среде абразива обеспечивает получение поверхности детали требуемого качества в ходе обработки в пределах поля допуска, а выборочная совокупность размеров подчиняется закону нормального распределения;

– на основании экспериментальных исследований надежности ТП ЦРО в среде абразива произведена количественная оценка надежности процесса обработки с помощью метода математической статистики;

– процесс сопровождается группой отказов (отказы, зависящие от оборудования, обрабатываемых деталей, человека, абразивной среды и режимов обработки), влияние которых можно уменьшить, произведя автоматизацию процесса обработки, повысив входной контроль деталей и ужесточив контроль режимов обработки;

– основное влияние на износ рабочей среды и нарушение устойчивого тороидально-винтового потока оказывают частота вращения ротора, объем загрузки рабочей камеры, зернистость абразивной среды и объем подаваемой СОЖ;

– получены зависимости для расчета шероховатости поверхности и съема металла с детали с учетом влияния объема загрузки рабочей камеры и объема подаваемой СОЖ, времени добавления порции абразивной среды и ее объема;

– полученные результаты позволяют обеспечить надежность ТП ЦРО в среде абразива.

Библиографический список

1. Проников А.С. Параметрическая надежность машин / А.С. Проников. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.

2. Григорьян Г.Д. Элементы надежности технологических процессов: учеб. пособие / Г.Д. Григорьян. – Киев; Одесса: Вища школа, 1984. – 214 с.

3. Рыжкин А.А. Основы теории надежности: учеб. пособие / А.А. Рыжкин, Б.Н. Слюсарь, К.Г. Шучев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ. 2002. – 182 с.

4. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1998. – 624 с.

5. Тамаркин М.А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами: дисс. ... д-ра техн. наук. – Ростов н/Д, 1995.

6. Трилисский В.О. Объемная центробежно-ротационная обработка деталей: обзор / В.О. Трилисский, И.Е. Бурштейн, В.И. Алферов. – М.: НИИмаш, 1983.

Материал поступил в редакцию 07.09.11.

References

1. Pronikov A.S. Parametricheskaya nadyozhnost` mashin / A.S. Pronikov. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E`. Baumana, 2002. – In Russian.

2. Grigor`yan G.D. E`lementy` nadyozhnosti texnologicheskix processov: ucheb. posobie / G.D. Grigor`yan. – Kiev; Odessa: Vy`shha shkola, 1984. – 214 s. – In Russian.

3. Ry`zhkin A.A. Osnovy` teorii nadyozhnosti: ucheb. posobie / A.A. Ry`zhkin, B.N. Slyusar`, K.G. Shuchev. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2002. – 182 s. – In Russian.

4. Babichev A.P. Osnovy` vibracionnoj texnologii / A.P. Babichev, I.A. Babichev. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 1998. – 624 s. – In Russian.

5. Tamarkin M.A. Teoreticheskie osnovy` optimizacii processov obrabotki detalej svobodny`mi abrazivami: diss. ... d-ra texn. nauk. – Rostov n/D, 1995. – In Russian.

6. Trilisskij V.O. Ob``yomnaya centrobezhno-rotacionnaya obrabotka detalej: obzor / V.O. Trilisskij, I.E. Burshtejn, V.I. Alfyorov. – M.: NIImash, 1983. – In Russian.

RELIABILITY CONTROL OF PRODUCTION PROCESSES OF CENTRIFUGAL ROTATORY TREATMENT BY LOOSE ABRASIVE

Y.V. KOROLKOV
(Don State Technical University)

Some probability-theoretical models of the metal removal and the formation of the surface coating condition under the loose-abrasive machining are improved. The centrifugal-rotatory treatment (CRT) in the loose abrasive environment is considered from reliability. The effect of the abrasive granules on the reliability of the CRT production process (PP) in the loose abrasive environment and the formation of the stable toroidal-helical flow is investigated comprehensively. The characteristics that influence on the quantitative assessment of the production process reliability are defined.
Keywords: *reliability of production processes, metal removal from workpiece surface, blanket condition, wear rate.*

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 004.65:339.13

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РАЗВИТИЯ ТОВАРНЫХ РЫНКОВ

Л.В. БОРИСОВА, В.П. ДИМИТРОВ
(Донской государственный технический университет),
Н.П. СЕМЕНЮК
(Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области)

Рассматриваются некоторые вопросы развития товарооборота и межрегиональных связей Ростовской области. Приведены отдельные статистические данные, анализ которых позволяет оценить сложившиеся на товарных рынках тенденции. Мониторинг товарных рынков способствует выработке конкретных шагов по повышению инвестиционной привлекательности Ростовской области.
Ключевые слова: *товарный рынок, продукция, база данных.*

Введение. Проблема комплексного изучения, обобщения и оценки состояния региональных товарных рынков актуальна, а ее решение способствует созданию предпосылок для успешной экономической интеграции. Идентификация и анализ процессов, происходящих на товарных рынках, финансовых результатов и экономической эффективности деятельности субъектов рынка необходимы для выявления причинно-следственных взаимозависимостей, обусловливающих ту или иную рыночную ситуацию, а также прогнозирования развития рынков и принятия корректирующих воздействий.

Анализ товарных рынков осуществляется в целях выявления и моделирования закономерностей рыночного механизма, необходимых для обеспечения предсказуемости развития рынка и обоснования применения социально-экономических рычагов регулирования рыночных процессов. Оперативно-функциональные задачи анализа и оценки сложившейся ситуации ориентированы на удовлетворение потребностей маркетингового менеджмента.

Рассматриваемая предметная область характеризуется разнообразием объектов и отношений между ними, выделяют группы товарных рынков: оптовой, мелкооптовой и розничной торговли, биржевые всех уровней (общероссийский, региональные), общероссийский в целом, общероссийские по товарным группам (рынок продукции для жизнеобеспечения населения, продукции производственно-технического назначения, взаимозаменяемой продукции и др.).

Среди важнейших задач, решаемых различными министерствами Ростовской области, можно выделить:

– определение фактических и ожидаемых структуры и объемов продаж важнейших групп или видов продукции на внутреннем и внешнем рынках;

– определение фактических и прогнозных объемов спроса и предложения на внутреннем и внешнем рынках по видам продукции;

– подготовка предложений по развитию спроса на отечественную продукцию и повышению ее конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках, стимулированию производства товаров, расширению экономически выгодного сотрудничества с регионами России и зарубежными партнерами.

Показатели функционирования товарных рынков. Одним из важных аспектов анализа является характеристика межрегионального обмена. Товарооборот Ростовской области с субъектами Российской Федерации ежегодно увеличивался, что говорит об укреплении межрегиональных связей и активизации процесса товарообмена, наполнении продукцией региональных рынков

(рис. 1). Однако в 2009 г. товарооборот снизился, что свидетельствует о кризисе в экономике страны.

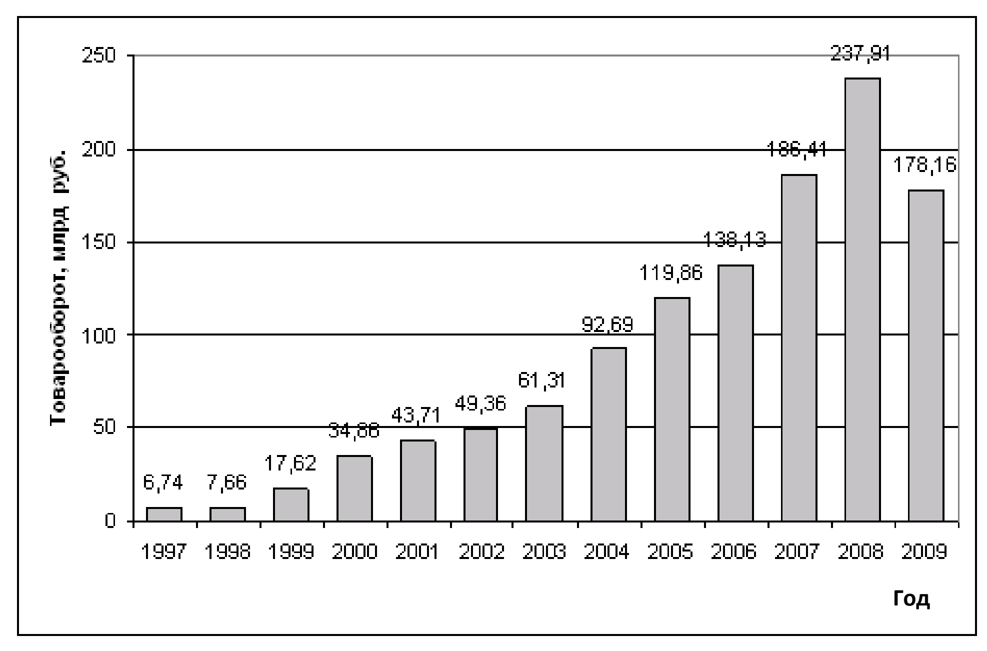


Рис. 1. Товарооборот Ростовской области с субъектами Российской Федерации

Анализ статистических данных позволяет выявить долю товарооборота отдельного округа и субъекта федерации, а также тенденции развития сотрудничества области с федеральными округами России, например ЦФО (рис. 2 и 3).

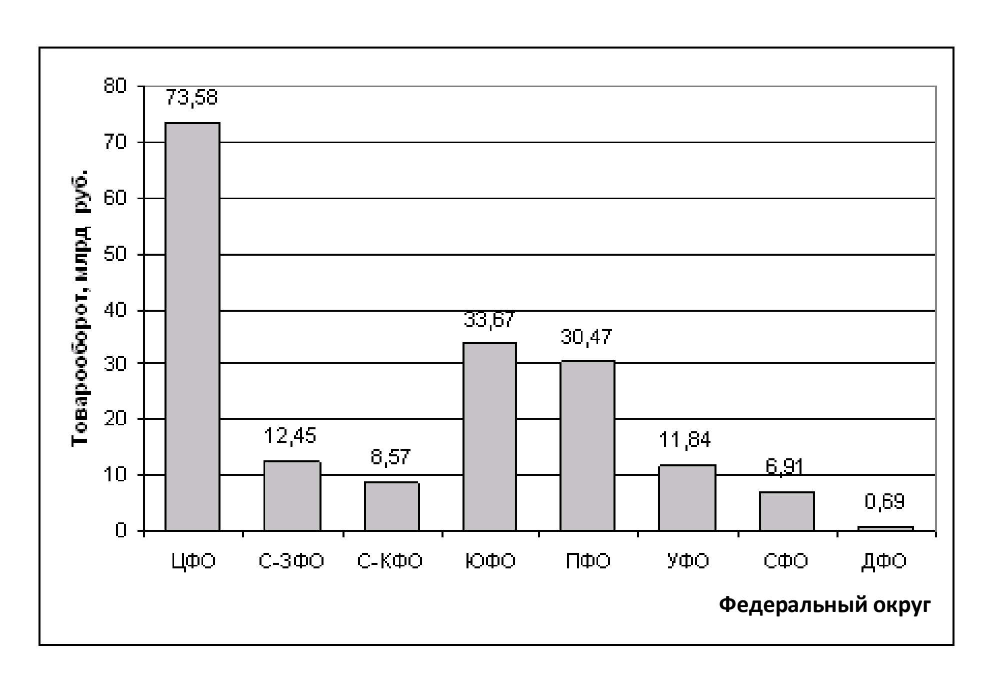


Рис. 2. Товарооборот в 2009 г.: ЦФО – Центральный федеральный округ;
С-ЗФО – Северо-Западный федеральный округ; С-КФО – Северо-Кавказский федеральный округ;
ЮФО – Южный федеральный округ; ПФО – Приволжский федеральный округ;
УФО – Уральский федеральный округ; СФО – Сибирский федеральный округ;
ДФО – Дальневосточный федеральный округ

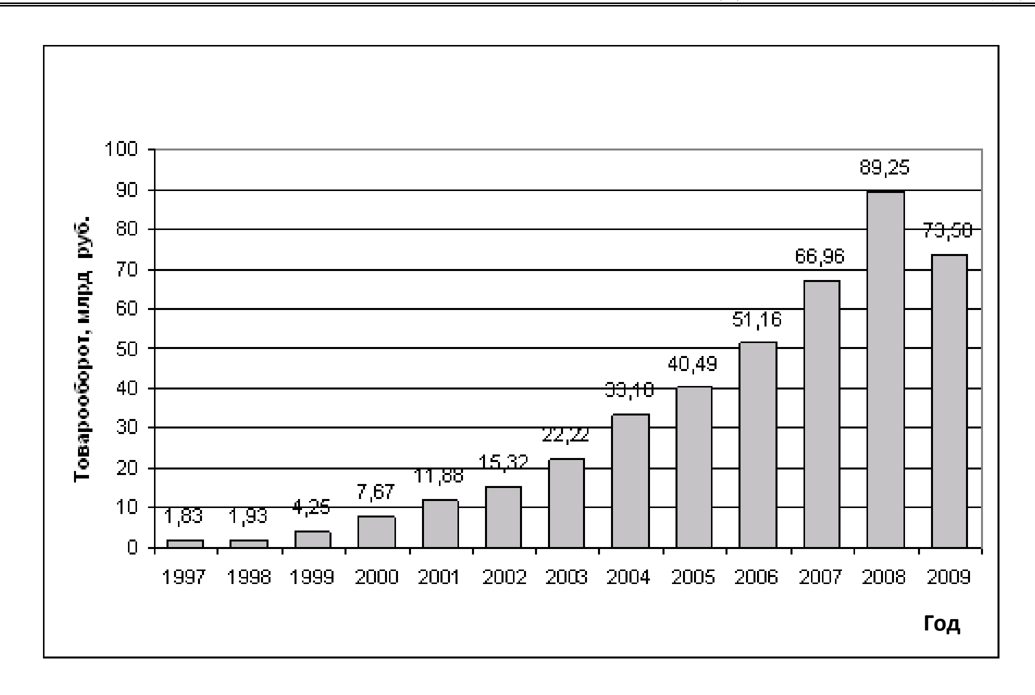


Рис. 3. Товарооборот Ростовской области с ЦФО

Применение компьютерных технологий при обработке статистических данных позволяет выявить тенденции сотрудничества области с федеральными округами России на основе методики анализа временных рядов [1].

Имеющаяся информация позволяет наметить субъекты и направления дальнейшего сотрудничества, среди которых важным аспектом является реализация соглашений о торгово-экономическом, научно-техническом и культурном сотрудничестве с субъектами Российской Федерации (рис. 4).

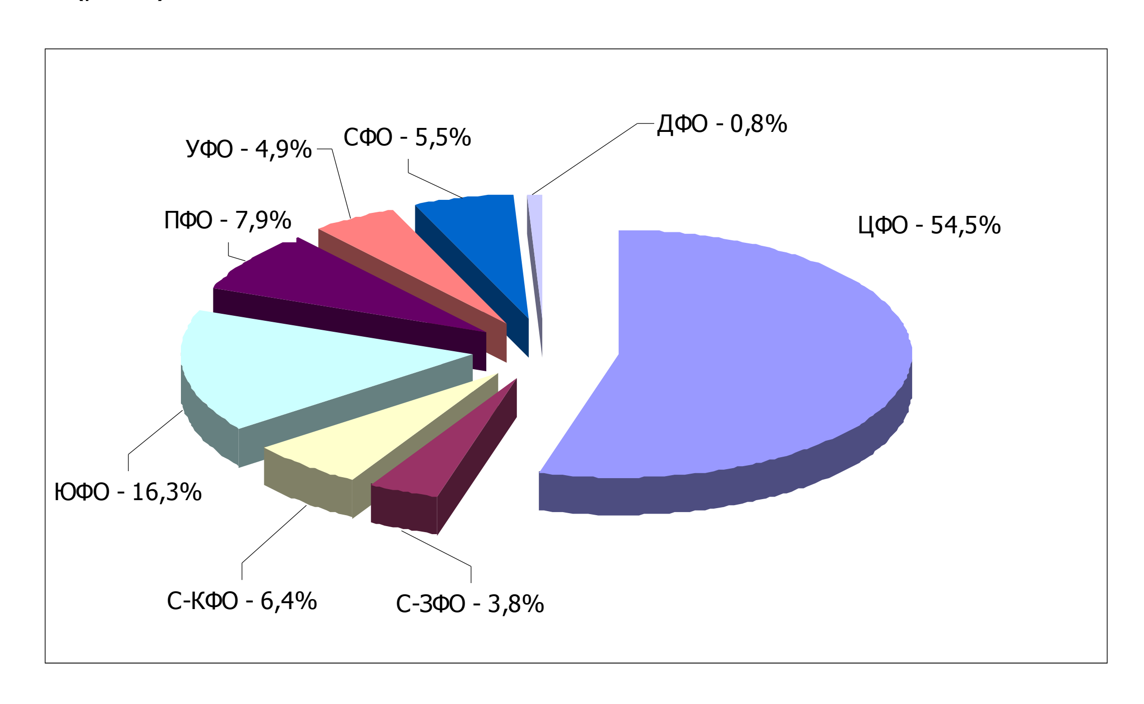


Рис. 4. Доля федерального округа в вывозе продукции производственно-технического назначения из Ростовской области в 2009 г., % от РФ

Представляет интерес анализ временных изменений товарооборота. Например, важнейшим стратегическим видом продукции, определяющим продовольственную безопасность страны, являются зерновые культуры, тенденция изменения товарооборота которых в стоимостном выражении представлена на рис. 5.

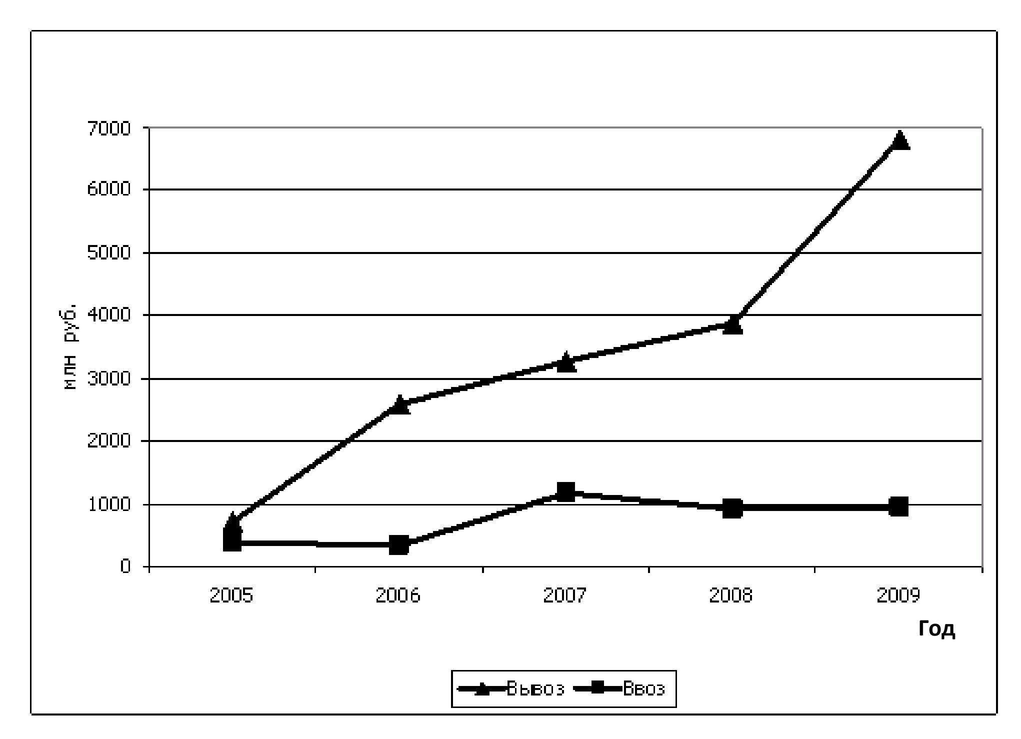


Рис. 5. Вывоз/ввоз зерновых и зернобобовых культур по годам

Выявление закономерностей развития товарооборота с регионами, построение экономико-математических моделей как инструментов для осуществления прогнозных оценок базируется на статистических данных, отражающих объективную картину по 87 регионам РФ и 11 странам СНГ, содержащей сведения о ввозе/вывозе по 269 видам продукции за 14 лет.

Так, по состоянию на 1 января 2010 г. Ростовская область имела 68 соглашений с субъектами Российской Федерации (республики, края, области). Для конкретизации подписанных соглашений разработаны и реализуются протоколы и программы двустороннего сотрудничества Ростовской области с регионами.

В 2010 г. реализовывались 8 протоколов и программ двустороннего сотрудничества Ростовской области с субъектами РФ: Москвой, Санкт-Петербургом, Московской областью, Краснодарским краем, Волгоградской областью, Чувашской республикой, республикой Северная Осетия – Алания, Алтайским краем [2].

Информационное обеспечение товарных рынков однозначно воспринимается экономистами как основа рыночного процесса.

Для анализа данных используется программный комплекс мониторинга товарных рынков, который позволяет осуществлять:

– накопление сведений о фактическом ввозе и вывозе продукции по регионам в натуральном и стоимостном выражении;

– учет производства продукции внутри региона;

– учет поставок на собственную территорию;

– расчет объемов ввоза и вывоза по регионам и заданному периоду.

Развитое программное обеспечение позволяет оперативно применять экономико-математическое моделирование, на основе которого осуществляется анализ тенденций состояния

товарных рынков, экономическое прогнозирование и предвидение развития экономических процессов. Разработанные модели – это прикладные инструменты при выработке качественных управленческих решений на всех уровнях хозяйственной иерархии, одних из важнейших компонентов в человеко-машинных системах планирования и управления экономическими системами.

Для обеспечения эффективного функционирования рынка необходимы такие предпосылки, как самостоятельность и экономическая ответственность, конкуренция, материально-финансовая сбалансированность, государственное регулирование. Говоря о качестве регулирования региональных товарных рынков, необходимо отметить, что одним из принципов менеджмента качества (*TQM*) является «принятие решения на основе фактов». Поэтому наличие своевременной и достоверной информации – важнейший фактор при выработке и реализации стратегии управления товарообменом, расширении связи с регионами и т. д.

Задачи анализа и прогнозирования состояния товарных рынков с целью выявления и моделирования закономерностей действия рыночного механизма, обеспечения предсказуемости развития рынка и обоснования применения социально-экономических рычагов регулирования рыночных процессов являются определяющими для специалистов министерств Ростовской области, из них можно выделить следующие:

– регламентированная обработка статистической отчетности;

– определение фактических и ожидаемых структур и объемов продаж важнейших групп и видов продукции на внутреннем и внешнем рынках;

– определение фактических и прогнозных объемов спроса и предложения на внутреннем и внешнем рынках по видам продукции;

– подготовка предложений по развитию спроса на отечественную продукцию и повышению ее конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках, стимулированию производства товаров, расширению экономически выгодного сотрудничества с регионами России и зарубежными партнерами.

Построение прогнозных оценок предусматривает выполнение следующих этапов:

– сбор информации эмпирического ряда рыночных показателей за прошлые периоды;

– выбор оптимального вида функции, описывающей указанный временной ряд с учетом его сглаживания и выравнивания;

– расчет параметров выбранной экстраполяционной функции;

– расчет прогноза на один – три года по выбранной функции.

Решение указанных задач позволяет оценить состояние рыночной инфраструктуры, установить соотношения между отдельными товарными группами (продукция для жизнеобеспечения населения и продукция производственно-технического назначения, сырье, топливо, готовая продукция, продукция по отраслям, основные и вторичные ресурсы и др.), а также соотношение продукции внутри торговых групп, определить рыночную конъюнктуру, выявить тенденции и проблемы развития регионального рынка по определенным видам продукции, разработать стратегические и оперативные меры по стимулированию их развития.

В товарной составляющей вывоза продукции производственно-технического назначения преобладают: комбайны зерноуборочные и кормоуборочные, грузовые автомобили и автобусы, электровозы, уголь и продукты его переработки, лакокрасочные материалы, станции автоматические телефонные, пленки полимерные, трубы стальные, плитки керамические глазурованные, волокна и нити химические, зерновые и зернобобовые культуры и др.

Из потребительских товаров в субъекты Российской Федерации из Ростовской области поставляются: консервы овощные, плодовые и ягодные (фруктовые), масло растительное, мясо и птица, вина шампанские и игристые, пиво, продукция рыбная пищевая товарная, цельномолочная продукция, автомобили легковые, папиросы и сигареты, верхняя одежда, мебель бытовая, обувь кожаная, другие потребительские товары.

В Ростовской области работают представительства субъектов Российской Федерации: Республики Дагестан, Чеченской Республики, Республики Башкортостан, Карачаево-Черкесской Республики, Республики Северная Осетия – Алания, Республики Калмыкия.

Заключение. Проведенный анализ применяемых министерствами методов мониторинга товарных рынков и товарооборота различных видов продукции позволил использовать подход с применением информационно-поисковой проблемно-ориентированной системы, содержащей обширную базу данных по ввозу/вывозу продукции, позволяющей предоставить разноплановую всестороннюю оценку сложившихся на товарных рынках тенденций. Результаты исследований по созданию программного продукта являются действенным инструментом для принятия управленческих решений разными структурами министерств и ведомств.

Результатом применения программного комплекса по мониторингу товарных рынков является выработка конкретных шагов по повышению инвестиционной привлекательности Ростовской области, а также оказание содействия в продвижении продукции донских производителей на товарные рынки других территорий, что является основной целью развития межрегионального сотрудничества Ростовской области.

Библиографический список

1. Практикум по статистике в Excel: учеб. пособие / Б.В. Соболь, Л.В. Борисова, Т.А. Иваночкина, И.М. Пешхоев. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 381 с.

2. Официальный портал Правительства Ростовской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.donland.ru.

3. Шафер Д.Ф. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимуме затрат: пер. с англ. / Д.Ф. Шафер, Р.Т. Фатрелл, Л.И. Шафер. – М.: Вильямс, 2005. – 1136 с.

Материал поступил в редакцию 05.09.11.

References

1. Praktikum po statistike v Excel: ucheb. posobie / B.V. Sobol`, L.V. Borisova, T.A. Ivanochkina, I.M. Peshxoev. – Rostov n/D: Feniks, 2010. – 381 s. – In Russian.

2. Oficial`ny`j portal Pravitel`stva Rostovskoj oblasti [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: www.donland.ru. – In Russian.

3. Shafer D.F. Upravlenie programmny`mi proektami: dostizhenie optimal`nogo kachestva pri minimume zatrat: per. s angl. / D.F. Shafer, R.T. Fatrell, L.I. Shafer. – M.: Vil`yams, 2005. – 1136 s. – In Russian.

SOME ANALYSIS ASPECTS OF COMMODITY MARKET DEVELOPMENT

L.V. BORISOVA, V.P. DIMITROV,
(Don State Technical University),
N.P. SEMENYUK
(Ministry of Agriculture and Food of the Rostov region)

Some questions of the development of the commodity turnover and interregional relations of the Rostov region are considered. Certain statistical data whose analysis permits to estimate current commodity market tendencies is given. Commodity markets monitoring contributes to formulating specific actions on the investment prospects of the Rostov region.
Keywords: *commodity market, products, database.*

УДК 502.3:334.012

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА В МАЛОМ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВЕ

Р.С. ВОЛОДИН
(Южный федеральный университет)

Рассматривается внедрение экологического менеджмента, нового этапа развития менеджмента организации, основная задача которого заключается в оптимальном сочетании эффективной деятельности предприятий с состоянием окружающей среды. Эколого-ориентированное управление на предприятиях возведено в России в ранг национальных приоритетов, но при этом существуют проблемы, мешающие его эффективному внедрению. Особо актуальными эти проблемы являются для малого предпринимательства.
Ключевые слова: *экологический менеджмент, эколого-ориентированное управление, системы экологического менеджмента.*

Введение. Экологическая ситуация, сложившаяся на сегодняшний день в мире, касается каждого. Отношение к экологическим проблемам как к проблемам отдельных регионов сменились совершенно новым видением, основанным на глобальном подходе к экологии.

Сегодня мы имеем полное право говорить об интернационализации экологических проблем и их глобальном характере. В 1987 г. в докладе «Наше общее будущее», представленном Всемирной комиссией ООН по окружающей среде и развитию под руководством Гру Харлем Брунтланда, была сформулирована концепция устойчивого развития общества, которая поставила перед обществом ключевой вопрос современности: вопрос о возможности достойного, разумного, неразрушительного и продолжительного сосуществования человечества и окружающей природной среды [1].

В данной концепции ключевая роль в обеспечении устойчивого развития отводится деловому сообществу. Именно деловое сообщество определяет способы эффективного использования ресурсов, делает выбор между возобновляемыми и невозобновляемыми ресурсами для удовлетворения потребностей человечества. Ответственность бизнеса в формировании устойчивого развития нашла отражение в опубликованной в 1991 г. Хартии «Бизнес и устойчивое развитие».

Одним из корпоративных приоритетов высшего порядка, согласно Хартии, является экологический менеджмент. Важность экологического менеджмента связана с тем, что именно он обеспечивает систематизацию подходов компаний к вопросам, связанным с состоянием окружающей среды, и включение экологически значимых целей в стратегию бизнеса как ее неотъемлемых компонентов. Сегодня можно однозначно утверждать, что экологический менеджмент – это новый этап развития менеджмента организации, который касается не просто эффективности отдельного предприятия, а указывает на глобальную ответственность бизнеса перед человечеством.

Внедрение экологического менеджмента как переход к новым методам управления. Успех и конкурентоспособность современного предприятия напрямую зависит от возможности эффективного применения на нем систем экологического менеджмента. В связи с активным стремлением России вступить во Всемирную торговую организацию экологический менеджмент для российских предприятий стал особенно актуальным, в первую очередь, это касается предприятий малого бизнеса.

На сегодняшний день в России эффективному внедрению систем экологического менеджмента мешают следующие проблемы.

Отсутствие проработанной и действенной правовой базы, касающейся экологического менеджмента. Правовой базы, регулирующей отношения в системе экологического менеджмента, в

России нет. Существуют законодательные документы, касающиеся либо экологии, либо концепции устойчивого развития [1]:

– указы Президента РФ «О государственной стратегии РФ по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития» от 04 февраля 1994 г. и «О концепции перехода РФ к устойчивому развитию» от 01 апреля 1996 г.;

– Экологическая доктрина России (2002 г.) и Стратегия устойчивого развития России (2002 г.);

– Национальная оценка прогресса Российской Федерации при переходе к устойчивому развитию (была представлена 26 августа 2002 г. на Саммите по устойчивому развитию в Йоханнесбурге);

– федеральный закон «Об охране окружающей среды» (в преамбулу введено понятие государственной политики в области охраны окружающей среды, «обеспечивающей сбалансированное решение социально-экономических задач, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений»).

И только в Экологической доктрине России упоминается обучение деловых кругов «методам управления с учетом экологического фактора», но серьезного внимания развитию роли бизнеса в устойчивом развитии, а тем более системам экологического менеджмента, не уделяет ни один из документов.

Тем не менее, в России, как и во всем мире, существуют стандарты, регламентирующие деятельность бизнес-сообщества в рамках экологического менеджмента. Госстандартом РФ были приняты международные стандарты ISO серии 14000 (14001, 14004, 14010, 14011, 14012, 14050, а затем и многие другие), но пока рано говорить об их эффективном внедрении. Главная проблема состоит в неадаптированности стандартов к российским условиям. Причины этого явления заключаются в том, что, во-первых, активность Госстандарта в деятельности Технического комитета 207 Международной организации по стандартизации была чрезвычайно низка – в работе принимал участие только один специалист; его же силами были подготовлены переводы основных стандартов серии. С 2001 г. Россия вообще не участвует официально в работе ИСО/ТК 207. Естественно, в таких условиях лишь небольшая доля необходимой информации о стандартах ISO серии 14000 распространялась в России по каналам Госстандарта.

Во-вторых, в подготовленных переводах используются непроработанные термины, в официальных переводах наблюдаются ошибки. Переводы опубликованы без официального текста на оригинальном (английском) языке. Переводы ВНИИКИ также не облегчают ситуацию: так, название стандарта ISO 14001:1996, переведенное как «Системы мероприятий по охране и рациональному использованию окружающей среды. Технические условия и руководство по применению», позже переведено как «Системы экологического менеджмента (EMS) – спецификации и руководство по использованию».

Естественно, это не способствует восприятию новых подходов отечественными консультантами и специалистами предприятий.

Правовая база и стандарты в области экологического менеджмента в России сегодня сформулированы так, что разобраться в них самостоятельно руководителям бизнеса без привлечения специалистов практически невозможно. Эта проблема особенно остро стоит перед представителями малого бизнеса, у которых нет средств для привлечения консультантов. Именно поэтому для большинства предпринимателей закрыт доступ к современным методам управления и эффективному функционированию бизнеса.

Следовательно, правовая база экологического менеджмента находится в стадии формирования и на сегодняшний день является скорее проблемой, стоящей на пути внедрения систем экологического менеджмента, чем помощником. Чем быстрее данная база будет сформирована, причем с учетом российских условий, тем быстрее можно будет эффективно внедрить системы экологического менеджмента в России.

Отсутствие международно-признанной системы сертификации систем экологического менеджмента. Существенной проблемой стала проблема отсутствия международно-признанной системы сертификации систем экологического менеджмента в России.

Госстандартом России зарегистрировано более 10 систем сертификации, объектом которых являются системы экологического менеджмента (или системы управления окружающей средой, согласно ГОСТ Р ИСО 14001-98). Но Госстандарт не осуществляет контроль деятельности данных систем сертификации и их центральных органов, не налагает международно-признанных требований обеспечения качества сертификации СЭМ. Результатом является существование систем сертификации, в которых действует только один орган оценки соответствия, лишь формально отделенный от центрального органа системы, большинство российских систем сертификации не обеспечивает выполнения требований Руководства ИСО/МЭК 66 «Общие требования к органам, выполняющим оценку и сертификацию систем экологического менеджмента», не говоря уже о Руководящих указаниях Международного форума по аккредитации по применению Руководства ИСО/МЭК 66.

Это привело к тому, что отечественные органы сертификации выдают сертификаты, не признаваемые органами по сертификации других систем, в частности, зарубежными, и, соответственно, зарубежными потребителями. Отсутствие такого признания наносит существенный ущерб компаниям, которые обращаются к российским органам сертификации, а в итоге получают сертификат, не признанный на мировом рынке. Отсутствие авторитета у российских систем добровольной сертификации позволило зарубежным органам сертификации развернуть свою деятельность на российском рынке, что наносит ущерб экономике России. Стоимость услуг, оказываемых зарубежными органами сертификации, достаточно высока (по российским меркам), что практически исключает возможность получения сертификата международного образца представителями малого бизнеса.

Таким образом, создание системы аккредитации органов по сертификации систем менеджмента качества, которая смогла бы претендовать на признание ее зарубежными партнерами, все еще актуально.

Отсутствие равноценной системы поощрения и наказания предприятий, оказывающих влияние на состояние окружающей среды. Анализ действий правительства РФ в области наказания предприятий, оказывающих негативное влияние на состояние окружающей среды, за последние годы показал, что в России значительно увеличились экологические штрафы, что, по мнению правительства, должно вести к увеличению ответственности за негативное воздействие на окружающую среду. По заявлению министра природных ресурсов Юрия Трутнева, сделанному 30 апреля 2010 г. «Российской газете», ответственность за воздействие на окружающую среду растет, и в 2011 г. штрафы увеличатся в пять раз, а с 2016 г. – в 20 раз. Связано это с тем, что на сегодняшний день общие экологические платежи составляют около 16 млрд руб., а это всего сотые доли процента от прибыли предприятий. По мнению министра, эти меры создадут дополнительную систему мотивации для предприятий.

В то же время отмечается важность и поощрительных мер. Особое место в современной экологической политике России, которая находит поддержку президента Д.А. Медведева, занимает создание мотивации для модернизации предприятий, потому что главная цель России – не только улучшить экологию, но и модернизировать предприятия, чтобы переход на более современные технологии был для них выгоден. Сегодня таких мотивов в законодательстве не прописано. Реформирование экологического законодательства Минприроды планирует завершить только к 2016 г., если принять во внимание, что новому законодательству понадобится время для обкатки и отработки, то, по прогнозам, Россия только к 2020 г. перейдет к новой системе, которая будет содержать равноценную систему наказания и поощрения предприятий, оказывающих влияние на окружающую среду.

Иными словами, в России экологическая политика ведется только с позиции наказания, а инструменты поощрения находятся в стадии разработки. Что касается малого бизнеса, то практически все нововведения касаются крупных предприятий, как правило, производственного характера. Но предприятия малого бизнеса, которых в России гораздо больше, чем крупных предприятий, по оценкам экологов, оказывают на окружающую среду не меньшее влияние. Устранить проблемы, на решение которых сейчас направлены силы Правительства РФ, способны системы экологического менеджмента, которые не разделяют предприятия на крупные и малые, они универсальны для всех.

Консервативная политика государства, проводимая в сфере экологии. Ежегодно Правительством РФ выделяются значительные средства, направляемые на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Согласно данным Росстата [2], природоохранные инвестиции в Российской Федерации в 2008 г. составили 102,4 млрд руб., отмечается положительная динамика роста финансирования к уровню инвестиций предыдущих лет (рис. 1).

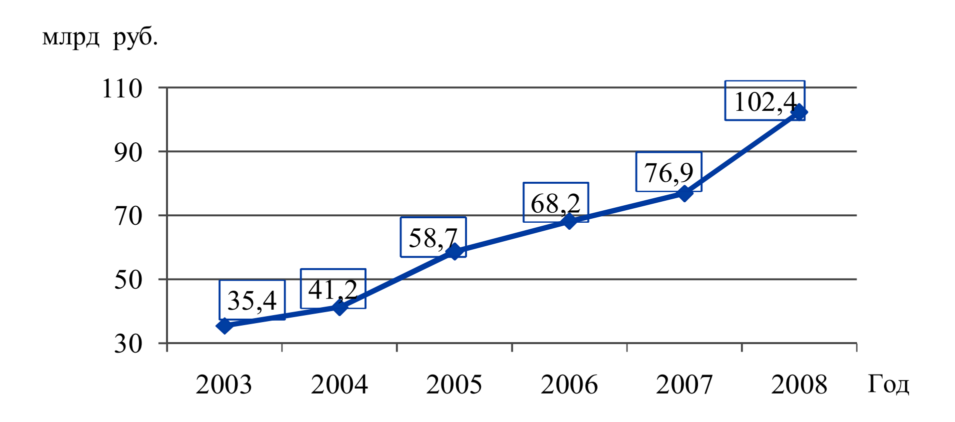


Рис. 1. Природоохранные инвестиции в Российской Федерации

Эти средства тратятся на охрану и рациональное использование водных ресурсов, атмосферного воздуха земель и т. п. мероприятия, т. е. деньги тратятся на улучшение показателей «на конце трубы». Это хорошо, но в то же время нет пункта поддержки современных методов улучшения экологической обстановки. Не выделяются средства на помощь предпринимателям в формировании систем экологического менеджмента, обучении предпринимателей основам эколого-ориентированного управления и т. п.

С одной стороны, происходит ужесточение ответственности за нарушение экологических норм, с другой, статистика экологической преступности в РФ за последние годы [2] свидетельствует о ее постоянном росте (рис. 2).

Россия срочно нуждается в действенных методах борьбы с экологической преступностью. Тратятся огромные деньги на поддержание благоприятной экологической обстановки в стране, но в то же время несовершенная правовая база, коррупция, отсутствие современных методов эколого-ориентированного производства не позволяют кардинально изменить экологическую ситуацию в стране. В последнее время много говорят о необходимости внедрения современных способов управления, которые учитывают экологические аспекты. На практике проводится абсолютно консервативная экологическая политика, не учитывающая насущных проблем.

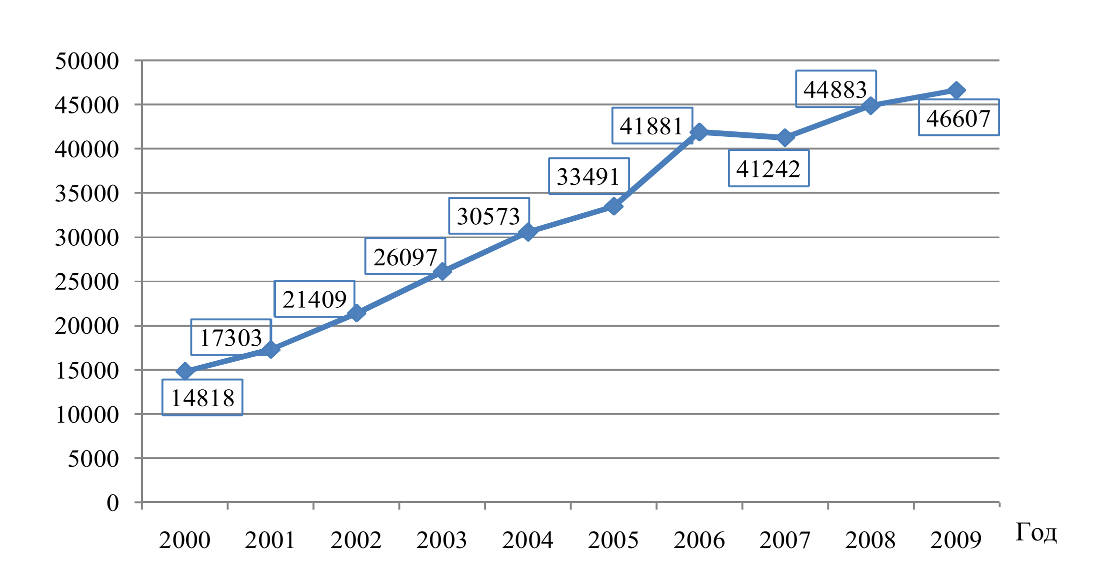


Рис. 2. Статистика экологической преступности

Отсутствие системы экологического образования. Система экологического менеджмента – это не просто набор правил и норм поведения. Экологический менеджмент – это новое осмысление жизни сегодня ради жизни завтра. Система образования играет здесь важную роль. Понятно, что кардинально изменить мышление современного поколения россиян практически невозможно, но уже сейчас должны закладываться основы экологического сознания у будущих поколений.

Практика показывает, что большие опережающие вложения в сферу образования, считающиеся вложением в будущее, являются гарантией успешных реформ и программ, т. е. предотвращения экологических катастроф.

По мнению кандидата биологических наук А. Гаджиева, сегодня для правильной организации образовательного процесса в этом направлении необходимо выделить задачи, стоящие перед средней и высшей школами [3]:

– передача последующим поколениям моральных и этических норм и традиций обращения с окружающей средой, принятых в данном обществе, т. е. воспитание экологического сознания, которое является основой экологического менеджмента, так как это сознание закладывается у ребенка с детства, и обучать этому надо в средней школе;

– подготовка руководителей с учетом экологического сознания. Грамотная подготовка специалистов этого уровня, которая должна вестись в средних специальных и высших учебных заведениях, значительно снизит вероятность необдуманных решений природоохранного толка;

– дополнительное образование в области охраны окружающей среды для специалистов различного профиля.

До сих пор не во всех школах, средних и высших учебных заведениях введен курс «Экология», а тем более «Экологический менеджмент» как отдельный предмет. По мнению специалистов, в большинстве вузов курс «Экологический менеджмент» является слегка обновленным курсом промышленной экологии. Экологическая необразованность значительно затрудняет внедрение экологического менеджмента на предприятия. Люди не готовы понять, зачем это нужно и как это работает.

Выводы. На сегодняшний день, согласно Общественному Регистру сертификации систем экологического менеджмента, в Российской Федерации сертификаты соответствия стандартам серии ISO 14000 имеют 330 компаний [4]. Большинство этих компаний – это филиалы зарубежных предприятий в России или крупные российские компании, активно работающие на мировом рынке. Регистр не содержит записи ни об одном представителе малого бизнеса. Данный показатель иллюстрирует тот факт, что в России существуют большие проблемы, мешающие внедрению систем экологического менеджмента на предприятиях, особенно на предприятиях малого бизнеса. От решения этих проблем во многом зависит будущее российского предпринимательства.

Чем быстрее Россия сможет адаптироваться к новым требованиям мирового делового сообщества, тем быстрее отечественные предприятия обретут конкурентоспособность на мировом рынке. В новых условиях для многих российских предприятий внедрение систем экологического менеджмента стало вопросом «жизни и смерти». Эффективное решение проблем внедрения систем экологического менеджмента на предприятия и переход России к новым эколого-ориентированным методам управления возможно только в одном случае – при эффективном взаимодействии и помощи государства и российского делового сообщества.

Библиографический список

1. Системы экологического менеджмента для практиков / Т.В. Островкова [и др.]; под ред. С.Ю. Дамана. – М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 248 с.

2. Российский статистический ежегодник. 2009: стат. сб. / Росстат. – М., 2009. – 795 с.

3. Гаджиев А. Куда идет караван? Экологическая политика России и как к ней приспособиться / А. Гаджиев // Экология и жизнь. – 2010. – № 1. – С. 24–26.

4. Общественный Регистр сертификации систем экологического менеджмента [Электронный ресурс] // Информационный сайт по системам экологического менеджмента. – Режим доступа: www.14000.ru/register/.

5. Банчева А.А. Нарушаем? Нарушаем... Эффективен ли сегодня экологический менеджмент / А.А. Банчева // Экология и жизнь. – 2008. – № 8. – С. 17–19.

6. Бобошко В.И. Экологический менеджмент в деятельности малых предприятий / В.И. Бобошко // Менеджмент в России и за рубежом. – 2008. – № 5. – С. 131–135.

7. Савкин В. Экологический менеджмент: задачи и функции / В. Савкин // Проблемы теории и практики управления. – 2010. – № 2. – С. 95–100.

8. Денисенко В.С. О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию [Электронный ресурс] / В.С. Денисенко // Федеральный портал «Социально-гуманитарное и политологическое образование». – Режим доступа: www.humanities.edu.ru/db/msg/17045.

Материал поступил в редакцию 05.09.11.

References

1. Sistemy` e`kologicheskogo menedzhmenta dlya praktikov / T.V. Ostrovkova [i dr.]; pod red. S.Yu. Damana. – M.: Izd-vo RXTU im. D.I. Mendeleeva, 2004. – 248 s. – In Russian.

2. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik. 2009: stat. sb. / Rosstat. – M., 2009. – 795 s. – In Russian.

3. Gadzhiev A. Kuda idyot karavan? E`kologicheskaya politika Rossii i kak k nej prisposobit`sya / A. Gadzhiev // E`kologiya i zhizn`. – 2010. – # 1. – S. 24–26. – In Russian.

4. Obshhestvenny`j Registr sertifikacii sistem e`kologicheskogo menedzhmenta [E`lektronny`j resurs] // Informacionny`j sajt po sistemam e`kologicheskogo menedzhmenta. – Rezhim dostupa: www.14000.ru/register/. – In Russian.

5. Bancheva A.A. Narushaem? Narushaem... E`ffektiven li segodnya e`kologicheskij menedzhment / A.A. Bancheva // E`kologiya i zhizn`. – 2008. – # 8. – S. 17–19. – In Russian.

6. Boboshko V.I. E`kologicheskij menedzhment v deyatel`nosti maly`x predpriyatij / V.I. Boboshko // Menedzhment v Rossii i za rubezhom. – 2008. – # 5. – S. 131–135. – In Russian.

7. Savkin V. E`kologicheskij menedzhment: zadachi i funkcii / V. Savkin // Problemy` teorii i praktiki upravleniya. – 2010. – # 2. – S. 95–100. – In Russian.

8. Denisenko V.S. O koncepcii perexoda Rossijskoj Federacii k ustojchivomu razvitiyu [E`lektronny`j resurs] / V.S. Denisenko // Federal`ny`j portal «Social`no-gumanitarnoe i politologicheskoe obrazovanie». – Rezhim dostupa: www.humanities.edu.ru/db/msg/17045. – In Russian.

IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEMS IN SMALL BUSINESS

R.S. VOLODIN
(Southern Federal University)

The implementation of the environmental management, a new stage of development of the enterprise management, is considered. The major task of the environmental management is the balance of effective enterprise activities and environmental conditions. The ecology-oriented management is brought to the level of the national priorities in Russia, however, there are some problems that interfere with its effective implementation. These problems are the most pressing challenge for small business.
Keywords: *eco-management, ecology-oriented management, environmental management systems.*

УДК 657.1

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СЕГМЕНТИРОВАНИЮ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА

Е.А. ШАРОВАТОВА
(Ростовский государственный экономический университет)

Прелагается расширение объектов управленческого учета. Обоснована необходимость выделения шести сегментов управления, учетная информация по которым позволит построить стратегию развития отраслевого бизнеса.
Ключевые слова: *управленческий учет, экономический сегмент, инновационное развитие управленческого учета, экономическая модель сегментарного учета, цели управления.*

Введение. В фундаментальных исследованиях в области развития менеджмента и управленческого учета используются прикладные приемы реализации конкретных новаций. Управленческий учет, как и управленческий процесс, не определяется единственным приемом, а связан с целым комплексом действий. Исследуя конкретные пути расширения его возможностей, нельзя ограничиться лишь учетными знаниями. Одно из условий применения управленческого учета в инновационном процессе – это расширение количества совместно действующих инструментов предоставления знаний об управляемом объекте. Инструменты управленческого учета применимы в различных структурах информационных потоков, каждый из которых соответствует тому или иному сегменту хозяйственной деятельности. В связи с этим сегменты деятельности становятся актуальными в качестве учетно-управленческих объектов для инновационно-ориентированных предприятий.

Уровни сегментирования в управленческом учете. С точки зрения управленческого интереса сегмент деятельности организации воспринимается как экономическая категория бизнеса, выделенный в информационной системе предприятия отдельным информационным учетным ресурсом. Для того чтобы механизм сегментирования на основе приемов управленческого учета сделал информационный поток востребованным для целей управления в любой коммерческой деятельности, необходимо наличие определенной структуры сегментов в качестве объектов управленческого учета. Сегменты как экономические категории сопоставимы с сегментированием коммерческого интереса: вид деятельности, география сбыта, группа покупателей, вид продукции или иной признак. В этом заключается смысл «конструкции» модели управленческого учета, когда информационные знания группируются по «учетным полочкам» в виде сегментов с целью систематического анализа их влияния на финансовые результаты.

Рыночная экономика сделала необходимым ранжирование учетной информации в зависимости от прибыльности объектов учета. Государственное регламентирование нормативно-правового режима сегментирования деятельности на законодательном уровне нашел отражение в утвержденном стандарте ПБУ 12/2000 «Информация по сегментам», регулирующем приемы официального бухгалтерского учета и отчетности в отношении обязательных сегментов. Однако составление сегментарной отчетности по ПБУ 12/2000 для российских предприятий связано с рядом проблем. Первая проблема вызвана отсутствием критериев применения принципов международных стандартов отчетности в рамках отечественного сегментирования, вторая — отсутствием методики сегментирования учета и отчетности как таковой. Еще в меньшей степени сегментирование ограничено рамками управленческого учета, поэтому не способно оперативно реагировать на появление новых сегментов для внутреннего управления бизнесом.

В мировой практике известно три стандарта по составлению сегментарной отчетности: SSAP-25 (Великобритания), FAS-131 (США) и МСФО 14 (международный стандарт). Указанные стандарты направлены на раскрытие информации по географическим и операционным сегментам финансовой отчетности. Например, стандарт FAS-131 применяется к коммерческим предприятиям

открытого типа и предусматривает раскрытие информации по сегментам лишь о самых крупных клиентах компании, т. е. клиентах, приносящих 10% выручки от общей выручки предприятия.

МСФО 14 обязывает раскрывать принципы и подходы к определению отчетных сегментов, а также сегментарную учетную политику в отношении этих объектов. Привлекательным в данном стандарте является то, что он содержит приложения в виде схем определения сегментов, демонстрационные сегментарные раскрытия и перечень необходимых раскрытий в отношении сегментов.

Одним из самых известных в мировой практике стандартов по предоставлению информации о сегментах является стандарт Великобритании SSAP-25 «Сегментарная отчетность» (Statements of Standard Accounting Practice-25). Данный стандарт предусматривает абсолютные критерии для предприятий, предоставляющих информацию по сегментам, а также определяет требования по оценке отчетных показателей, которые формируют информацию по сегментам.

Несмотря на необходимость прозрачного представления в отчетности информации по сегментам, международные стандарты и отечественный вариант сегментирования не предполагают гибкости при избрании сегментов управления, поскольку они регламентируют ведение учета в рамках официально утвержденной учетной политики, поэтому они менее всего приспособлены для гибкого управления, тем более что соблюдение коммерческой тайны в отношении информации об аналитических сегментах данные стандарты не предполагают.

Для решения данной проблемы предложено несколько структурных уровней учетных сегментов, применение которых целесообразно в управленческой бухгалтерии. Первые уровни сегментарного управленческого учета – географические и операционные сегменты, это условие официальных регламентов бухгалтерского учета. Учетная информация по ним может быть востребована при формировании пояснительной записки, являющейся обязательным приложением к бухгалтерской отчетности, что делает их исключительными. В качестве географических сегментов целесообразно использовать территориальные признаки для разделения информации по объектам управленческого учета, например, внешний рынок, внутренний рынок и иные территориальные субъекты. В качестве операционных сегментов как в международной, так и в отечественной учетной практике используются виды основной и прочей деятельности. Учетное сегментирование в операционном сегменте особо актуально при избрании востребованных видов деятельности и формировании ее прибылеобразующей структуры.

Третий уровень аналитических сегментов в виде товарных групп расширяет информацию операционных сегментов. Например, если к одному из основных видов операционной деятельности относится строительство, то в качестве подсегментов целесообразно выделить строительно-монтажные работы, связанные с первичным строительством, строительно-монтажные работы по возведению газо-, водораспределительных объектов, ремонтно-монтажные работы и т. д. Транспортные услуги логично разделить на грузоперевозки и пассажирские перевозки. Торговая деятельность объективно делится на торговлю продуктовыми и промышленными товарами и т. д. При этом нет ограничений в детализации каждого подсегмента. Вид товарной группы можно информационно детализировать вплоть до конкретной единицы продукции (услуги), что в учетной практике получило название «носитель затрат». Единственным критерием расширения учетных возможностей может быть принцип, при котором результативность учета не должна превышать расходов на ведение такого учета.

В результате информация сегментарного учета по указанным товарным группам достаточна для формирования стратегии продаж, но недостаточна для принятия текущих управленческих решений в рамках каждой составляющей бизнеса. Для этих целей могут быть востребованы информационные сегменты следующих уровней.

Так, в качестве четвертого уровня управленческого учета целесообразно избрать сегмент покупателей и заказчиков. Это обусловлено тем, что естественным путем формируются группы покупателей по отношению к однородным продуктовым группам. Их объединяют однотипные

схемы потребления по отношению к этим группам. Сущность сегментирования рынка в учете состоит в детализации информации о доходах, расходах и финансовых показателях групп покупателей со схожими потребительскими возможностями. В качестве таковых можно выделить группы покупателей по периодичности заказов, например, покупатели с разовой и постоянной потребностью приобретения продукции. Такая дифференциация заказчиков позволит применять гибкие цены в отношении продуктовых групп. Ценообразование по разовым договорам может ориентироваться на более высокий уровень рентабельности в цене товара, нежели по рамочным договорам, действующим длительное время.

Не менее важным является критерий выделения покупателей и заказчиков с надежной и, наоборот, сомнительной платежеспособностью. Качественная характеристика этого критерия возможна на основе экспресс-анализа фискальной бухгалтерской отчетности таких покупателей, что позволит предпочтение отдавать покупателям с более надежной платежеспособностью. Заключение контрактов с заказчиками, имеющими ограниченные платежные возможности, производится по остаточному признаку, под которым понимаются свободные производственные ресурсы в виде остатка материалов на складах для исполнения таких договоров, наличие свободных мощностей имеющегося оборудования, наличие трудовых ресурсов и пр. Кроме того, исполнение таких договоров не должно привлекать дополнительные расходы (дополнительный штат управленческих кадров, дополнительное оборудование и пр.). При этом наличие покупателей с менее устойчивым финансовым положением обязывает более предусмотрительно относиться к формированию цены продажи, по возможности включая в нее риски от невозврата дебиторской задолженности.

Таким образом, ценность сегментарного учета различных групп покупателей позволит ранжировать их по степени надежности, платежеспособности и постоянству покупательных потребностей. А это, в свою очередь, обеспечит более надежную информационную базу при формировании бюджета движения денежных средств.

Не менее значимой является пятая группа учетных сегментов в виде центров затрат. Главную идею управленческого учета можно представить как совокупность методологических процедур по исчислению финансовых результатов, в связи с этим каждый объект учета рассматривается с позиции его влияния на прибыль. При этом решающим является действие фактора конкурентной динамичной рыночной среды, когда меняются источники сырья и материалов, технология производства, рынки сбыта, тип продукции, география ее производства и реализации. Появляется необходимость децентрализации при распределении полномочий по принятию решений между различными уровнями управления. Исходя из этого в качестве учетных сегментов можно выделить центры затрат в виде производственных и непроизводственных подразделений в соответствии со структурой управления организацией. Каждый вид затрат должен быть исчислен по тому центру, в котором он возникает. Это положение вытекает из принципа «причинности» или сопоставления затрат и доходов. Организация такого учета центров затрат делает возможным унифицированный контроль формирования затрат во всех субъектах корпорации, повышение ответственности за их целесообразность и, что не менее важно, контроль уровня косвенных затрат по каждому предприятию.

Для управления бизнесом самым важным являются сегменты шестой группы в виде центров ответственности. Признание в организационной структуре предприятия зон индивидуальной ответственности привело к появлению центра ответственности. Классификация затрат по степени регулируемости дает возможность выделить объекты учета (и, соответственно, объекты управления) в виде центров ответственности, когда сгруппированная информация позволяет понять, кто и насколько своими действиями может влиять на затраты. Такие объекты не вызывают изменений первичного учета, сохраняют общие принципы его построения и формы бухгалтерских регистров.

Данные сегменты более всего соответствуют отдельным функциям бизнес-процесса конкретной организации. Например, в качестве центра ответственности может выступать функция

поддержания в рабочем состоянии оборудования и прочей активной части основных средств. Ответственность за выполнение данной задачи обычно в организации несет главный инженер. Информация о результативных показателях по ее исполнению станет объектом сегментарного учета. Таким же объектом учета станет зона ответственности по функции логистики, организации производства, маркетинга, учета и управления. Каждая функция связана с расходованием определенной части финансовых средств, в отношении каждой можно определить долю ее участия в создании прибыли предприятия, каждая закреплена за конкретным руководителем. Этим объясняется ее значимость в качестве сегмента в управленческом учете.

На промышленных предприятиях в качестве центров ответственности могут быть выделены конкретные зоны ответственности, сопоставимые с бизнес-процессами отрасли: непосредственно производство, управление качеством продукции, логистика, маркетинг и услуги, сопутствующие продажам, управление денежными потоками; информационная поддержка воспроизводственной деятельности, управление персоналом, обеспечение безопасности и защита информации, управление интеллектуальной собственностью, правовое обеспечение.

Деление управленческого учета на сегменты можно продолжать в зависимости от потребностей управления, для каждого предприятия оно индивидуально. Например, предприятия, работающие с привлечением государственных заказов, могут использовать сегменты в зависимости от вида финансирования: бюджетного или коммерческого. Оптимальный вариант применения инструментария управленческого учета может быть найден только после анализа конкретных условий деятельности и потребностей каждого предприятия.

Децентрализация структуры информационного поля предполагает необходимость применения конкретных учетных приемов. Во-первых, в каждом сегменте управления необходимо учитывать не только расходы, но и соответствующие этому сегменту доходы, что позволит определить долю вклада каждого сегмента в общую прибыль предприятия. Приемы трансфертного ценообразования в отношении сегментов управления позволят сформировать основные оценочные показатели (финансовые результаты) функционирования избранных сегментов.

Во-вторых, информация о сегментах должна формироваться системно, а не ручной выборкой соответствующей учетной информации. Это потребует расширения программного обеспечения и использования дополнительных аналитических уровней для каждого сегмента при формировании бухгалтерских проводок. Возможность реализации такого приема обеспечивается введением рабочего плана счетов в учетную политику организации.

В-третьих, дополнительная нагрузка в виде расширенных уровней аналитического учета делает целесообразным дифференциацию финансовых и управленческих приемов, с применением различных методов исчисления финансового результата, различной структуры доходов и расходов в отношении объектов финансового и управленческого учета, а также различного количества самих объектов учета.

В-четвертых, настройка элементов управленческой системы должна происходить во взаимосвязи с другими подсистемами, например, в структуру бюджетов включают бюджеты основных показателей в отношении тех объектов, которые одновременно являются объектами управленческого учета. При этом соответствующая настройка программного обеспечения на функцию бюджетирования позволит в системном режиме оперативно формировать план-фактные отклонения. Кроме того, в системе контроля потребуется разработка соответствующих оценочных показателей для каждого из объектов, что позволит запустить в действие подсистему мотивации для участников управленческого механизма предприятия в целом. В результате настройка учетного сегментирования позволит расширить контроль активности сегментов применительно к различным единицам бизнеса. В таблице систематизированы возможности применения на предприятии многоуровневого сегментирования в управленческом учете в сфере управления субъектом.

Возможности применения многоуровневого сегментирования в управленческом учете для управления субъектом

№ п/п	Наименование учетного сегмента	Примеры сегментов	Расширение возможностей управления на основе учетного сегментирования
1	Географические сегменты	Внутренний рынок (области, края и пр.) Внешний рынок (страны-экспортеры)	Оценка структуры территориального размещения объемов продаж
			Оценка структуры территориального размещения затрат
			Применение показателя динамики территориальных продаж для оценки доли продаж субъекта в территориально-отраслевом бизнесе
2	Операционные сегменты	Серийное производство Единичное производство Ремонт Транспортные услуги Торговая деятельность	Оценка структуры размещения объемов продаж
			Оценка структуры размещения затрат
			Применение показателя динамики продаж для оценки доли продаж субъекта в отраслевом бизнесе
3	Товарные группы продаж	Виды продукции с однотипным технологическим циклом	Оценка структуры размещения объемов продаж
			Оценка структуры размещения затрат
			Применение показателя динамики продаж для оценки доли продаж субъекта в отраслевом бизнесе
4	Покупатели и заказчики	Государственные заказчики Коммерческие структуры Внешнеэкономические контрагенты Покупатели по частоте размещения заказов Покупатели по форме оплаты	Оценка продаж в рамках госзаказа в общем объеме выручки
			Оценка продаж коммерческим структурам в общем объеме выручки
			Оценка продаж на экспорт в общем объеме выручки
			Оценка доходности групп покупателей на основе ранжирования по прибыльности
			Оценка потребительской способности сегментов
			Оценка платежной способности сегментов, выявление покупателей с сомнительной способностью
5	Центры ответственности	Бизнес-процессы	Оценка возможностей руководителей каждого сегмента исполнять функциональные обязанности
			Оценка структуры затрат
			На основе приемов трансфертного ценообразования оценка издержкоемкости бизнес-процессов путем ранжирования сегментов по прибыльности
6	Центры затрат	Цеха Отделы Службы	Оценка структуры расходов
			Оценка доли управляющих в общей сумме затрат
			Оценка доли управляемых в общей сумме затрат
			На основе приемов трансфертного ценообразования оценка издержкоемкости подразделений путем ранжирования сегментов по прибыльности

Необходимо добавить, что чем более подвижна внешняя среда, тем более разнообразными будут уровни аналитического сегментарного учета для инновационных предприятий. Предлагаемый в рамках этого многоуровневый подход к сегментированию результативной информации ориентирован на структурирование системы управленческого учета как единственного поставщика учетно-аналитической информации для целей оперативного управления.

Заключение. Таким образом, чем более полный набор качественных факторов будет привлечен при выборе количественных параметров (сегменты аналитического учета), тем более объективным будет сегментарного учета, что в целом повлияет на обоснованность управленческих решений. При этом сложность внешней среды требует такой реакции со стороны управленческого учета, которая для каждой организации индивидуальна. В более сложных условиях окажется организация, которая использует многочисленные и сложные технологии и претерпевает техническое перевооружение или модернизацию производства. В результате становится очевидным, что адаптация приемов сегментирования в управленческом учете отдельного предприятия или корпорации в целом увеличивает аналитические уровни учетной системы, а, следовательно, издержки на ведение учетных функций. Однако результатом такого процесса станет получение ценной информации для управления рыночным соотношением «затраты – выпуск».

Библиографический список

1. Концепция инновационной политики Российской Федерации на 1998–2000 годы: постановление Правительства РФ № 832 от 24 июля 1998 г.
2. Берлин А.Д. Диалектика корпоративного управления: что изменилось в связи с кризисом? / А.Д. Берлин, В.К. Вербицкий, К.А. Гуляев // Акционерное общество: вопросы корпоративного управления. – 2010. – № 10 (77).
3. Пинтус Д. Репозиционирование управленческого учета / Д. Пинтус // Консультант. – 2005. – № 3.
4. Шеремет А.Д. Управленческий учет / А.Д. Шеремет. – М.: ФБК ПРЕСС, 2001. – 510 с.
5. Яругова А. Управленческий учет (management accounting): опыт экономики развитых стран: пер. с польск. / А. Яругова; предисл. Я.В. Соколова. – М.: Финансы и статистика, 2001.
6. МСФО (IFRS) 8 «Операционные сегменты» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.accountingreform/ru.

Материал поступил в редакцию 01.09.11.

References

1. Koncepciya innovacionnoj politiki Rossijskoj Federacii na 1998–2000 gody`: postanovlenie Pravitel`stva RF # 832 ot 24 iyulya 1998 g. – In Russian.
2. Berlin A.D. Dialektika korporativnogo upravleniya: chto izmenilos` v svyazi s krizisom? / A.D. Berlin, V.K. Verbiczkij, K.A. Gulyaev // Akcionernoe obshhestvo: voprosy` korporativnogo upravleniya. – 2010. – # 10 (77). – In Russian.
3. Pintus D. Repozicionirovanie upravlencheskogo uchyota / D. Pintus // Konsul`tant. – 2005. – # 3. – In Russian.
4. Sheremet A.D. Upravlencheskij uchyot / A.D. Sheremet. – M.: FBK PRESS, 2001. – 510 s. – In Russian.
5. Yarugova A. Upravlencheskij uchyot (management accounting): opy`t e`konomiki razvity`x stran: per. s pol`sk. / A. Yarugova; predisl. Ya.V. Sokolova. – M.: Finansy` i statistika, 2001. – In Russian.
6. MSFO (IFRS) 8 «Operacionny`e segmenty`» [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: www.accountingreform.ru. – In Russian.

MODERN APPROACHES TO SEGMENTATION OF MANAGEMENT ACCOUNT

E.A. SHAROVATOVA
(Rostov State University of Economics)

The accounting entities expansion is offered. The necessity of the allocation of six management segments whose accounting information will permit to form the development strategy of the branch business is proved.
Keywords: *management account, economic segment, innovative development of management account, economic model of segmental accounting, administrative objectives.*

УДК 657.922(075.8)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ ОБЪЕКТА НЕЗАВЕРШЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА: РАСЧЕТ УРОВНЯ КОРМАРАЛЬНОСТИ

А.В. БАЙКОВСКАЯ
(ООО «АПРИОРИ»)

Приведено обоснование необходимости учета специфики функционирования отношений в сфере объектов незавершенного строительства при определении их рыночной стоимости. Рассмотрено влияние внешних факторов на стоимость объекта недвижимости на различных стадиях строительства.
Ключевые слова: *объект незавершенного строительства, оценка, оценочная деятельность, недвижимость, коэффициент готовности, стадия строительства, кормаральность.*

Введение. В структуре управления собственностью отдельное место занимает принятие решений о приобретении и продаже объектов незавершенного строительства. Статус таких объектов, их стоимость, а также логика управления ими во многом определяют эффективность инвестиций и динамику развития инфраструктуры отдельных регионов и государства в целом. Особое значение имеет методика определения рыночной стоимости объектов незавершенного строительства в современной России. Рынок недвижимого имущества изобилует объектами незавершенного строительства как недвижимости, относящейся к государственной и муниципальной собственности, так и объектов, находящихся в частной собственности. Плановая экономика передала в наследие рыночной экономике «долгострои», экономика «переходного» периода породила большое количество неэффективных собственников, не способных завершить собственные инвестиционные проекты в условиях нестабильной экономики. Это лишь некоторые варианты, иллюстрирующие примеры так называемой «заморозки» огромных ресурсов, не нашедших эффективного применения в современной России [1].

Незавершенное строительство можно рассматривать как неудачную реализацию инвестиционных проектов, в которых конкретные инвесторы, склонные к повышенным рискам, в условиях неблагоприятного инвестиционного климата не смогли реализовать свои проекты. Для того чтобы вернуть хотя бы часть вложенных средств, многие из них готовы отказаться от начатых проектов и реализовать объекты незавершенного строительства на открытом рынке более эффективным собственникам.

Решение данного вопроса является важным и для развития регионов РФ. Это подтверждает тот факт, что из всего объема объектов незавершенного строительства только на землях городских территорий находится 51,5 %. Это означает, что часть наиболее привлекательных городских территорий с развитой инфраструктурой «заморожены» в своем развитии вместе с находящимися на них объектами незавершенного строительства и не дают экономической отдачи.

Практика показывает, что традиционный подход к оценке объектов незавершенного строительства по учетной стоимости (стоимости затрат) не отражает интересы участников современного рынка, поэтому рынок объектов незавершенного строительства продолжительное время находится в стагнации, и существует острая необходимость определения адекватной требованиям рынка стоимости объектов незавершенного строительства. На фоне быстро меняющихся рыночных условий эта задача оказалась достаточно сложной, требующей разработки новой методики оценки стоимости объектов незавершенного строительства в условиях неопределенности. Существующие в настоящее время методики и нормативные документы не решают задачу оценки стоимости объектов незавершенного строительства с учетом их специфики.

Определение рыночной стоимости незавершенных объектов строительства основывается на принципе учета спроса и предложения, ожидания, замещения, конкуренции, а также наи-

лучшего и наиболее эффективного использования. На практике реализуется, в основном, затратный подход к оценке, сравнительный подход имеет крайне ограниченное применение из-за сложностей расчета поправочных коэффициентов. От доходного подхода оценщики отказываются в силу невозможности извлекать доходы от неэксплуатируемого объекта до момента завершения строительства. Таким образом, существующие методы оценки объектов незавершенного строительства не учитывают специфические особенности незавершенных объектов, а, следовательно, не отражают реальной их стоимости [2].

В зарубежной и отечественной литературе большое внимание уделено вопросу анализа внешней среды рынка недвижимости. Существует ряд моделей факторного анализа влияния внешней среды, но часто все сводится к перечислению и группировке факторов при отсутствии каких-либо показателей, характеризующих состояние внешней среды рынка в целом [3 – 5]. Необходимо отметить, что активные исследования в области оценки инвестиционной привлекательности регионов и городов могут использоваться при рассмотрении макросреды локального рынка недвижимости. Как правило, в предлагаемых методиках недостаточно изученными остаются связи и зависимости между самим рынком и средой, в которой он формируется [6].

В настоящее время все более актуальной становится проблема, связанная с поиском категории, которая в полной мере характеризовала бы состояние потребностей современного рынка недвижимости, его взаимосвязи с существующими теоретическими основами экономики недвижимости. Для характеристики соответствия концептуально-теоретических подходов к оценке объектов незавершенного строительства рыночным реалиям представляется необходимым ввести категорию «кормаральность» (англ. – *corresponding to market reality*), отражающую степень адекватности методов оценки логике формирования реальной рыночной стоимости объекта, учитывающей законы спроса и предложения. Данный термин является компиляцией слогов двух английских и одного русского слова, входящих в сочетание «соответствие рыночной реальности». Именно соответствие стоимости объектов недвижимости на различных стадиях строительства динамике реального спроса и предложения, по нашему мнению, является ведущим фактором благополучного развития рынка недвижимого имущества и особенно в условиях нестабильной экономической ситуации.

Кормаральность – это соотношение между результатом оценки объекта недвижимости на различных стадиях строительства, полученным в соответствии с существующими подходами (R_{St}), и результатом, который может быть получен с учетом факторов влияния внешней среды на объект незавершенного строительства (R):

$$K_{КОР} = \frac{R_{St}}{R}. \quad (1)$$

Для устранения несоответствия между существующими теоретическими подходами оценки объектов незавершенного строительства и практическими реалиями, которые эти подходы не учитывают из-за отсутствия методик, позволяющих отразить особенности объектов недвижимости на различных стадиях строительства до ввода их в эксплуатацию, достаточно рассмотреть существующие проблемы, с которыми сталкиваются оценщики при определении стоимости объектов незавершенного строительства. Эти проблемы связаны, прежде всего, с невозможностью получения обоснованной рыночной стоимости объектов незавершенного строительства из-за несоответствия методик, существующих в теории оценки, не учитывающих полностью текущие рыночные условия, оказывающие влияние на объекты незавершенного строительства в силу их специфики. Это создает барьеры для корректной оценки объектов незавершенного строительства в условиях современного рынка недвижимости, так как каждый из существующих подходов к оценке (доходный, затратный и сравнительный) базируется на определенных критериях, учитывающих специфику оцениваемых объектов, или необходимо создание подходов и методов для определения этих критериев.

Причиной появления термина «кормаральность» является парадоксальная ситуация, сложившаяся в реальной практике оценки объектов незавершенного строительства. С одной стороны, подходы, существующие в теории оценки, стали общепринятыми. С другой стороны, практика показывает, что применяемые в настоящее время методики и нормативные документы не решают задачи адекватной оценки стоимости объектов незавершенного строительства в контексте конкретного рынка недвижимости.

Учет конкретных рыночных факторов в рамках каждого подхода к оценке, наиболее сильного их влияния на тот или иной подход к оценке помогут выявить показатель корректировки и изменения существующих методик оценки. Таким показателем и будет служить уровень кормаральности, для расчета которого необходимо выбрать критерии сопоставления. Мероприятия по разработке критериев для создания методик оценки объектов незавершенного строительства в зависимости от влияющих на них извне рыночных условий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Мероприятия по совершенствованию существующих методик оценки с учетом рыночных условий

Подходы	Рыночные условия, препятствующие применению существующих методов в рамках подхода	Модернизация методик с учетом рыночных реалий для возможной практической реализации
Затратный	Подверженность объектов незавершенного строительства более высокой степени физического, функционального износов	Разработка критериев для обоснованного расчета физического и функционального износов объектов незавершенного строительства
	Необходимость точного определения степени готовности объекта	Разработка адекватных методик определения стоимости объектов незавершенного строительства в зависимости от степени готовности
Сравнительный	Отсутствие на рынке аналогичных объектов	Разработка методики расчета стоимости объектов незавершенного строительства, позволяющая сравнивать их с объектами-аналогами, завершенным строительством, и получение корректной стоимости с учетом введения поправок, отражающих специфику оцениваемого объекта
	Сложность расчета поправочных коэффициентов при сравнении с объектами-аналогами	Введение критериев расчета показателей сравнения объекта оценки с объектами-аналогами и их обоснование
Доходный	Необходимость информации о сроках окончания строительства оцениваемого объекта незавершенного строительства	Разработка методики расчета реального времени, необходимого для окончания строительства с учетом степени готовности объекта в случае отсутствия прогнозируемых сроков завершения строительства или их нарушения
	Невозможность получения дохода от эксплуатации объекта незавершенного строительства до момента завершения строительства	Внесение предположения об условной завершенности оцениваемого объекта и дальнейшая корректировка существующих методик оценки стоимости объекта незавершенного строительства с учетом этого условия

Таким образом, все имеющиеся недостатки существующих методик определения стоимости объектов незавершенного строительства являются отражением уровня кормаральности: чем корректнее определена рыночная стоимость объекта, тем более применимой на практике становится методика, а, следовательно, более кормаральным будет соответствие стоимости объекта сложившемуся рынку.

В теории методические подходы, используемые при оценке рыночной стоимости незавершенных строительством объектов, соответствуют сложившимся и изложенным в стандартах подходам, применяемым к оценке готовых объектов [7].

Причиной достаточно низкого уровня кормаральности, существующего в настоящее время, является сложная концептуальная структура методических подходов к оценке объектов недвижимости: с одной стороны, существует четкий, прозрачный и содержательный алгоритм оценки объектов недвижимости, с другой стороны, на уровне рабочего инструментария четкость алгоритма размывается и фактически приходится постоянно проектировать инструменты для оценки каждого объекта.

Данная проблема не всегда признается специалистами, поскольку это затруднительно для собственников и менеджеров, принимающих инвестиционные решения. Однако для специалистов-оценщиков данная проблема является актуальной и требующей оперативного решения.

Существенное влияние на алгоритмическую стройность процесса расчета и обоснования рыночной стоимости объекта незавершенного строительства также оказывает наличие ряда ключевых проблем, которые ранее были перечислены как неблагоприятные условия, препятствующие применению существующих методов (табл. 1). Указанная методологическая проблема теории оценки объектов незавершенного строительства предопределяет невозможность применения полностью формализованных подходов к оценке такой недвижимости. Имеющийся практический инструментарий базируется на глубинном противоречии, с которым приходится сталкиваться в теории оценки. Существование рыночных барьеров резко снижает достоверность получаемых результатов стоимости и, как следствие, снижает доверие к практической ценности расчета и его обоснованиям. Одним из возможных выходов является формирование методики определения стоимости объектов незавершенного строительства путем учета факторов влияния внешних рыночных барьеров на его стоимость.

С точки зрения системного подхода необходимо рассмотреть взаимосвязь внешних факторов со стоимостью конкретного объекта незавершенного строительства. Изменения, происходящие в настоящее время во внешнем мире, заставили обратить на влияние факторов внешней среды еще большее внимание. Влияние данных факторов на стоимость объекта незавершенного строительства и будет определять уровень кормаральности. Необходимость всестороннего анализа факторов рынка, оказывающих влияние на создание, динамику функционирования и степень завершенности рынка объектов незавершенного строительства, позволит более тщательно и взвешенно подходить к выбору методик определения стоимости таких объектов и избежать возможных ошибок при их оценке.

Основными факторами влияния обстоятельств на ситуацию, складывающуюся во внешней среде по отношению к объектам незавершенного строительства, является группа факторов, которые связаны с показателями, являющимися определяющими при расчете стоимости объекта незавершенного строительства (табл. 2). Количественное влияние факторов приведено на примере объекта незавершенного строительства «ХХХ».

Таблица 2

Анализ уровня влияния факторов внешней среды на объект незавершенного строительства «ХХХ»

№ п/п	Факторы влияния непредвиденных обстоятельств на ситуацию, складывающуюся во внешней среде	Количественное влияние фактора (q_i), балл		
		1	2	3
1	2	3	4	5
1	Подверженность более высокой степени износа: – для завершенного строительством объекта – 1; – при проведении мероприятий по консервации объекта незавершенного строительства и приостановлении строительства – 2; – при отсутствии мероприятий консервации и приостановлении строительства – 3			х
2	Степень готовности объекта (учитывается риск незавершения строительства, невозможности достройки) [8]: – свыше 70% – 1; – от 30% до 70% – 2; – до 30% – 3		х	
3	Наличие/отсутствие на рынке прямых аналогов для сравнения: – наличие на рынке прямых объектов-аналогов незавершенного строительства – 1; – наличие на рынке объектов-аналогов незавершенного строительства с различной степенью готовности и назначением – 2; – отсутствие на рынке объектов-аналогов незавершенного строительства, наличие завершенных строительством объектов аналогичного назначения – 3	х		

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
4	Сроки окончания строительства: – есть планируемые сроки окончания строительства – 1; – строительство объекта ведется, но к планируемым срокам окончания строительства объект сдать не удается, сроки сдвигаются – 2; – строительство приостановлено или прекращено, сроки окончания неизвестны – 3		x	
5	Возможность прогнозирования денежных потоков, получаемых от владения объектом незавершенного строительства после завершения строительства и сдачи его в эксплуатацию: – прогнозируемые сроки завершения строительства не превышают установленные СНиП 1.04.03-85 «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений» – 1; – прогнозируемые сроки завершения строительства превышают установленные СНиП 1.04.03-85 «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений» не более чем на 10% – 2; – прогнозируемые сроки завершения строительства превышают установленные СНиП 1.04.03-85 «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений» более чем на 10% – 3		x	

Влияние таких факторов на объект незавершенного строительства, зависит от того, в какой среде происходит взаимодействие: с незначительной степенью риска, с умеренной степенью риска и с высокой степенью риска.

Для каждой степени влияния характерно количественное значение баллов (рис. 1).



Рис. 1. Распределение влияния факторов внешней среды на объект незавершенного строительства

Каждому анализируемому фактору по рассматриваемым критериям экспертно определяется количественная оценка и присваивается ранг соответственно его степени влияния, исходя из 5-балльной системы оценки, где 1 – наименьшая степень влияния, 5 – наивысшая степень влияния фактора соответственно. Таким образом, можно определить уровень кормаральности

$$E_{КОР} = \sum_{i=1}^{n} q_i d_i \ , \qquad (2)$$

где $E_{КОР}$ – уровень кормаральности; q_i – ранг, присвоенный i-му фактору; d_i – весовой коэффициент i-го фактора; n – количество факторов, n = 1, 2, 3.

Методика расчета влияния факторов предполагает определение веса каждого фактора на основе их ранжирования. Весовые коэффициенты присваиваются в зависимости от мнения группы экспертов по каждому анализируемому фактору. Эксперты выбирают один из пяти вариантов в

зависимости от степени влияния. Наибольший вес присваивается фактору, имеющему наибольшее влияние на оцениваемый объект. Рассчитываем удельный вес фактора

$$d_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^{n} q_i}. \qquad (3)$$

Пример расчета уровня кормаральности по таблице взвешенных рисков на примере объекта незавершенного строительства «ХХХ» приведен в табл. 3. Полученный результат уровня кормаральности $E_{КОР}$ при оценке объекта «ХХХ» равен 8,188. Это свидетельствует о том, что объект находится в среде с умеренной степенью риска, для которой характерно наличие на рынке объектов-аналогов, а также информации по прогнозируемым срокам окончания строительства, а, следовательно, возможно применение сравнительного и доходного подходов к оценке данного объекта.

Таблица 3

Расчет уровня кормаральности на примере объекта незавершенного строительства «ХХХ»

Факторы риска	Ранг				
	1	2	3	4	5
Подверженность более высокой степени износа	0	0	3	0	0
Степень готовности объекта (учитывается риск незавершения строительства, невозможности достройки)	0	0	0	0	2
Наличие/отсутствие на рынке прямых аналогов для сравнения	1	0	0	0	0
Сроки окончания строительства	0	0	0	2	0
Возможность прогнозирования денежных потоков, получаемых от владения объектом незавершенного строительства после завершения строительства и сдачи его в эксплуатацию	0	2	0	0	0
Итоговая сумма по фактору	1	4	9	8	10
Весовые коэффициенты (d_i)	0,03	0,13	0,28	0,25	0,31
Значение	0,031	0,500	2,531	2,000	3,125
Уровень кормаральности ($E_{КОР}$)	8,188				

Таким образом, в данной зоне возможно получение адекватной рыночной стоимости объекта с учетом риска инвестирования и принятие управленческого решения.

Алгоритм реализации математического подхода к определению уровня кормаральности представлен на рис. 2.

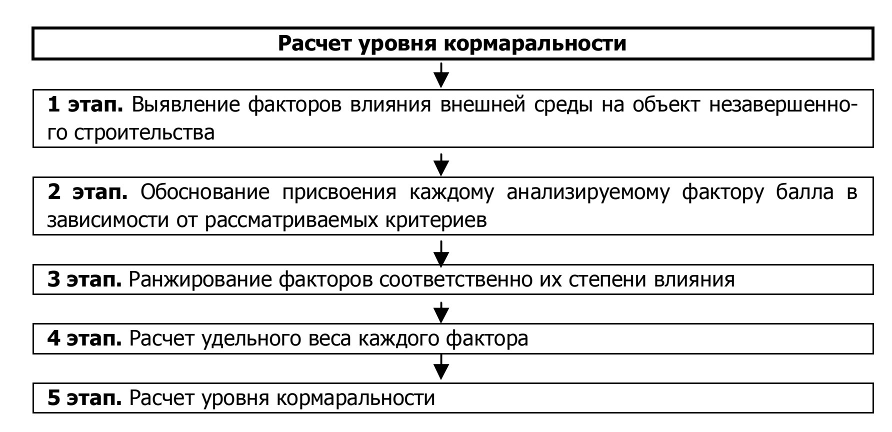


Рис. 2. Алгоритм расчета уровня кормаральности

Результаты расчетов показали, что уровень кормаральности принимает значения от 3,667 до 11, причем значения 3,667 он достигает при незначительной степени влияния внешних факторов (незначительный уровень риска), а значение 11 – при максимально высокой степени влияния внешних факторов (высокая степень риска).

Выводы. Полученный результат отражает степень влияния кормаральности на оцениваемый объект незавершенного строительства, что поможет в процессе определения рыночной стоимости такого объекта установить:

– в рамках доходного подхода соответствующую степень риска вложения в конкретный объект незавершенного строительства (целесообразность его дальнейшего финансирования или приобретения). Данный показатель может быть применен в качестве составляющей при расчете нормы отдачи на капиталовложения с учетом риска инвестирования (ставки дисконтирования);

– в рамках сравнительного подхода целесообразность применения подхода, в случае применения позволяет рассчитать дополнительную поправку при сравнении с объектами-аналогами. Если степень влияния внешних факторов незначительная, то это означает, что характеристики и потребительские качества объекта оценки как товара очень низки, в этом случае следует отказаться от применения сравнительного подхода как дающего наименее корректную рыночную стоимость объекта, поскольку в стоимость оцениваемого объекта при сравнении будет вводиться значительное число поправок и корректирующих коэффициентов, суммарное значение которых в итоге может достигнуть высокого значения, что будет говорить о значительных различиях объекта оценки и объектов-аналогов. В случае если степень влияния внешних факторов умеренная, то рекомендации сводятся к применению сравнительного подхода, но при этом следует, по возможности, сравнивать его также с объектами незавершенного строительства, в отношении которых также действуют факторы влияния обстоятельств на ситуацию, складывающуюся во внешней среде, что поможет получить корректный результат рыночной стоимости. Когда степень влияния внешних факторов высокая, это дает возможность оценщику включать в число сопоставимых объектов-аналогов объекты как незавершенные, так и завершенные, и вводить по отношению к последним дополнительную корректировку;

– в рамках затратного подхода разницу (погрешность) в величине совокупного износа (физического, функционального и внешнего) объекта незавершенного строительства в сравнении с аналогичным объектом той же группы капитальности, но завершенного строительством, что позволит отразить более интенсивное влияние внешней среды на незавершенные объекты, а, следовательно, и более высокую степень износа.

Расчет адекватной стоимости объектов незавершенного строительства является важным фактором стимулирования развития данного сегмента рынка недвижимости, что имеет большое значение как для инвесторов и покупателей объектов, так и собственников, заинтересованных в активизации спроса на объекты, в которых «заморожены» значительные средства, способные приносить весомую прибыль при их конвертации в другие виды бизнеса и предпринимательской деятельности. Именно поэтому статичность принятых теоретических подходов требует уточнения в соответствии с возникновением новых рыночных условий, связанных с формированием адекватной спросу стоимости объектов недвижимости на всех стадиях строительства.

Библиографический список

1. Воданюк С.А. Базовые понятия оценки – цель, объект, предмет, задачи / С.А. Воданюк // Вопр. оценки. – 2009. – № 4. – С. 55–58.

2. Доможирова Н.Н. Особенности оценки объектов незавершенного строительства / Н.Н. Доможирова, А.В. Байковская // Вестн. УГТУ – УПИ. – 2009. – № 3. – С. 15.

3. Таха Х.А. Введение в исследование операций / Хэмди А. Таха. – 7-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – 912 с.

4. Barton P. Modeling in the economic evaluation of health care: selecting the appropriate approach / P. Barton, S. Bryan, S. Robinson // Journal of health services research & policy. – 2004. – № 9(2). – P. 110–118.

5. Briggs A. Decision Modelling for Health Economic Evaluation / A. Briggs, K. Claxton, M. Sculpher. – Oxford University Press, 2007. – 237 p.
6. Практические аспекты оценки коммерческой и жилой недвижимости, объектов незавершенного строительства и земельных участков // Банковское кредитование. – 2007. – № 3.
7. Оценка недвижимости: учебник / под ред. А.Г. Грязновой, М.А. Федотовой [и др.]. – М.: Финансы и статистика, 2009.
8. Городнова Н.В. Методический подход к оценке сроков завершения строительства объектов государственно-частными партнерствами / Н.В. Городнова, А.В. Байковская // Стратегический управленческий анализ. – 2011. – № 3.

Материал поступил в редакцию 06.07.11.

References

1. Vodanyuk S.A. Bazovy`e ponyatiya ocenki – cel`, ob``ekt, predmet, zadachi / S.A. Vodanyuk // Vopr. ocenki. – 2009. – # 4. – S. 55–58. – In Russian.
2. Domozhirova N.N. Osobennosti ocenki ob``ektov nezavershyonnogo stroitel`stva / N.N. Domozhirova, A.V. Bajkovskaya // Vestn. UGTU – UPI. – 2009. – # 3. – S. 15. – In Russian.
3. Taxa X.A. Vvedenie v issledovanie operacij / Xe`mdi A. Taxa. – 7-e izd. – M.: Vil`yams, 2007. – 912 s. – In Russian.
4. Barton P. Modeling in the economic evaluation of health care: selecting the appropriate approach / P. Barton, S. Bryan, S. Robinson // Journal of health services research & policy. – 2004. – # 9(2). – P. 110–118.
5. Briggs A. Decision Modelling for Health Economic Evaluation / A. Briggs, K. Claxton, M. Sculpher. – Oxford University Press, 2007. – 237 p.
6. Prakticheskie aspekty` ocenki kommercheskoj i zhiloj nedvizhimosti, ob``ektov nezavershyonnogo stroitel`stva i zemel`ny`x uchastkov // Bankovskoe kreditovanie. – 2007. – # 3. – In Russian.
7. Ocenka nedvizhimosti: uchebnik / pod red. A.G. Gryaznovoj, M.A. Fedotovoj [i dr.]. – M.: Finansy` i statistika, 2009. – In Russian.
8. Gorodnova N.V. Metodicheskij podxod k ocenke srokov zaversheniya stroitel`stva ob``ektov gosudarstvenno-chastny`mi partnyorstvami / N.V. Gorodnova, A.V. Bajkovskaya // Strategicheskij upravlencheskij analiz. – 2011. – # 3. – In Russian.

ESTIMATION TECHNIQUE OF UNFINISHED BUILDING COST: CALCULATION OF CORRESPONDENCE TO MARKET REALITY

A.V. BAIKOVSKAYA
(LLC «APRIORI»)

Appreciating the necessity of the specific relations in the sphere of the unfinished buildings under the determination of the market value is substantiated. The influence of the external factors on the value of the real property at various construction phases is considered.
Keywords: *facility under construction, assessment, estimated activity, real property, factor of readiness, stage of construction, correspondence to market reality.*

УДК 330 (075.8)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВНЕБЮДЖЕТНЫХ ПОСТУПЛЕНИЙ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

О.Г. АНАНОВА
(Донской государственный технический университет)

Анализируется деятельность государственных вузов по привлечению внебюджетных средств. Проведен анализ существующих проблем, источников, перспектив получения доходов от самостоятельной уставной деятельности.
Ключевые слова: *государственный вуз, внебюджетные средства, качество образования, платные образовательные услуги.*

Введение. Потребности рынка труда и тяжелое материальное положение вузов стимулировали расширение платности обучения. Формирование стратегии развития предпринимательской деятельности государственных вузов в условиях недостаточного бюджетного финансирования становится одной из насущных задач современных вузов.

Направления внебюджетной деятельности вузов. Изменения последних лет в экономике РФ не могли не затронуть высшие учебные заведения. Вузы стали полноправными субъектами рыночной экономики со всеми ее атрибутами, в первую очередь, конкуренцией. В этой ситуации качество образования приобретает характер основного элемента конкурентоспособности вуза на рынке образовательных услуг.

Например, проведенные в Донском государственном техническом университете исследования по выявлению факторов, влияющих на выбор абитуриентом вуза, показали, что в структуре мотивации наибольшее значение имеют следующие факторы: «хорошее качество образования» и «престижность вуза» (43% и 29% соответственно). В то же время престижность вуза складывается из мнения абитуриентов и студентов о качестве образования. Таким образом, в настоящее время качество образования становится значимым для 72% абитуриентов при выборе вуза.

Качество образования должно отвечать четко определенным потребностям, области применения или назначения, удовлетворять требования потребителей, соответствовать применяемым стандартам и техническим условиям, отвечать требованиям общества, предъявляться потребителю по конкурентоспособным ценам, являться экономически выгодным.

Для достижения этой цели вуз должен держать под контролем все технические, административные и человеческие факторы, влияющие на качество выпускаемой продукции.

Основными видами деятельности вуза являются подготовка специалистов и выполнение научно-исследовательских работ. Заказчик, оформляя заказ, предъявляет ряд требований к выпускаемой продукции. В качестве заказчика могут выступать как физические лица – заказ на подготовку специалиста, так и юридические – заказ на научные разработки или подготовку специалиста. Руководство вуза несет ответственность перед заказчиками за исполнение заказа. Кроме этого, оно обеспечивает управление ресурсами с целью оптимального их использования: материально-техническими – зданиями, аудиториями, компьютерной и иной техникой и т. д.; людскими – профессорско-преподавательским составом, научными работниками и др.

Для повышения уровня подготовки специалистов, который должен соответствовать современным требованиям научно-технического, социально-экономического прогресса, вузы вынуждены ежегодно увеличивать свои расходы в расчете на одного обучающегося студента для со-

вершенствования всех составляющих учебного процесса, в том числе на приобретение учебно-научного оборудования, компьютерной техники, учебной, научной литературы и т. д.

Важным источником финансового обеспечения образовательной деятельности государственных образовательных учреждений являются внебюджетные средства, т. е. доходы от самостоятельной уставной деятельности. Право на проведение такой деятельности предоставлено образовательным учреждениям законодательно [1–3].

На сегодняшний день для образовательных учреждений существует несколько основных источников доходов:

– платная образовательная деятельность по основным и дополнительным учебным программам;

– послевузовское профессиональное образование;

– повышение квалификации и переподготовка кадров;

– международные образовательные гранты;

– научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и оказание услуг по договорам (государственным контрактам) и грантам на проведение научно-исследовательских работ;

– иные виды платной образовательной деятельности, не запрещенные законодательством.

Кроме того, образовательному учреждению законодательно разрешено:

– ведение предпринимательской деятельности по реализации и сдаче в аренду основных фондов и имущества;

– торговля покупными товарами, оборудованием;

– долевое участие в деятельности других учреждений (в том числе образовательных) и организаций; оказание посреднических услуг;

– приобретение акций, облигаций, иных ценных бумаг, получение доходов (дивидендов, процентов) по ним;

– учебно-производственная деятельность мастерских, учебно-опытных участков, агростанций, хозяйств, типографий, магазинов, подразделений общественного питания и других структурных подразделений, не имеющих статуса юридического лица.

Указанный перечень может быть дополнен некоторыми дополнительными видами: возмещение Фондом социального страхования (ФСС) пособий, средств, затраченных на приобретение путевок в санатории, часть из которых должна оплачиваться за счет средств ФСС, получение средств, поступивших в виде платы за проживание в общежитиях. Возможно получение доходов от договоров на эксплуатационные, коммунальные и необходимые административно-хозяйственные услуги, заключенные в установленном порядке, а также иная приносящая доход деятельность.

Несмотря на то, что вузам разрешено заниматься предпринимательской деятельностью, нынешний бюджетно-правовой статус государственных вузов не позволяет им свободно развиваться в условиях, когда ужесточается режим использования бюджетных средств: все внебюджетные доходы должны планироваться в составе бюджета и использоваться только через единую смету, лимиты бюджетных обязательств и лицевой счет в казначействе. Это вынуждает государственные вузы функционировать в неформальном режиме.

В соответствии с одобренными Правительством РФ в 2003 г. Принципами реструктуризации бюджетного сектора должны быть созданы возможности для преобразования бюджетных учреждений в организации других организационно-правовых форм (автономное учреждение, автономная некоммерческая организация) [4]. Такие организации не войдут в реестр получателей бюджетных средств, у них будут свои банковские счета, по их обязательствам государство не несет ответственность. Внебюджетные средства и собственные доходы в дополнение к бюджетному

финансированию за реально предоставляемые бюджетные услуги эти учреждения смогут оставлять у себя и распоряжаться ими по своему усмотрению (при соблюдении уставных целей).

В сложившейся ситуации с учетом разнообразия направлений и видов приносящей доход деятельности, с одной стороны, усиливается контроль со стороны государства, с другой стороны, одной из важнейших проблем остается разработка новой схемы финансирования государственных образовательных учреждений путем развития механизмов привлечения денежных средств в рамках осуществляемой государственными вузами разрешенной предпринимательской деятельности.

Но наиболее существенные расхождения в части определения правового режима денежных средств, получаемых вузами от собственной экономической деятельности, имеются между законодательством об образовании и бюджетным законодательством РФ.

Бюджетным Кодексом РФ (БК РФ) предусмотрен переход на казначейскую систему исполнения бюджетов, а также существенное изменение режима доходов, получаемых бюджетными учреждениями от приносящей доход экономической деятельности. Суть изменения статуса бюджетных учреждений сводится к обеспечению непосредственного и постоянного контроля органов исполнительной власти (на федеральном уровне – органов Федерального казначейства) формирования доходов и осуществления расходов бюджетного учреждения.

Бюджетное законодательство, в отличие от законодательства об образовании, жестко регламентирует формы распоряжения и использования имущества, поступившего в распоряжение государственного высшего учебного заведения, особенно внебюджетными средствами. В целях усиления контроля использования учреждениями средств, получаемых от предпринимательской и иной приносящей доход деятельности, указанные средства в соответствии со ст. 42 БК РФ в полном объеме включены в состав неналоговых доходов бюджета и признаны дополнительным источником бюджетного финансирования учреждений, при этом никаких исключений для государственных высших учебных заведений нет.

Складывается противоречивая ситуация: с одной стороны, законодательство об образовании признает право собственности за государственными высшими учебными заведениями на денежные средства (как и на иное имущество), полученные от собственной деятельности; с другой стороны, БК РФ распространяет на них общий правовой режим, характерный для бюджетных средств. В силу ст. 42 БК РФ доходы государственного высшего учебного заведения от собственной экономической деятельности, таким образом, отражаются как доходы государственного бюджета соответствующего уровня, в то время как согласно ст. 27 федерального закона «О высшем и послевузовском профессиональном образовании», они продолжают считаться объектами права собственности учебного заведения. Это противоречие не так легко устранить путем толкования норм [3]. В юриспруденции являются аксиомами правила: «специальная норма имеет право преимущества над общей» и «норма, содержащаяся в законе, принятом позднее, отменяет норму, содержащуюся в законе, принятом ранее». Однако в данном случае, во-первых, остается спорным, нормы какого законодательства (бюджетного или образовательного) являются специальными. Это зависит от того, какой критерий дифференциации считать основным. Во-вторых, БК РФ был принят позднее федерального закона «О высшем и послевузовском профессиональном образовании», но в указанный закон неоднократно вносились изменения уже после вступления БК РФ в юридическую силу.

Итак, с одной стороны, во всех перечисленных случаях существуют чрезвычайно широкие права и весомые гарантии для государственных учебных заведений, предусмотренные законодательством об образовании. С другой стороны, налицо полное отсутствие каких-либо механизмов их эффективной реализации в бюджетном законодательстве РФ. В результате многие положения законодательства об образовании оказываются недействующими, de facto отмененными, или, во

всяком случае, их действие оказывается парализованным. Некоторые нормы законодательства об образовании устарели и не вписываются в концепцию государственной бюджетной системы. Например, введение казначейской системы исполнения федерального бюджета исключает какую-либо степень самостоятельности в расходовании государственным высшим учебным заведением бюджетных средств. И в этой части положения пп. 4 и 6 ст. 28 федерального закона «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» должны быть приведены в соответствие с БК РФ.

Напротив, некоторые положения БК РФ, определяющие правовой режим средств, получаемых государственными вузами от собственной экономической деятельности, излишне жестко ограничивают их самостоятельность по использованию и распоряжению данными средствами, игнорируют специфику отношений, складывающихся в сфере образования. Так, в п. 3 ст. 161 БК РФ закрепляется, что в смете доходов и расходов должны быть отражены все доходы бюджетного учреждения, получаемые как из бюджета, так и от осуществления предпринимательской деятельности, в том числе доходы от оказания платных услуг, другие доходы, получаемые от использования государственной или муниципальной собственности, закрепленной за бюджетными учреждениями на праве оперативного управления, и иной деятельности. Согласно п. 4 ст. 254 БК РФ средства от предпринимательской деятельности и использования государственной собственности бюджетного учреждения зачисляются на единый счет федерального бюджета в соответствующем территориальном органе Федерального казначейства. Территориальный орган Федерального казначейства обязан отразить указанные средства на лицевом счете бюджетного учреждения не позднее дня, следующего за днем зачисления их на единый счет федерального бюджета. И лишь с этого момента бюджетное учреждение вправе распоряжаться этими средствами. Следовательно, собственные средства государственного учебного заведения, как уже отмечалось, приравниваются по режиму их использования к бюджетным средствам. Руководством Федерального казначейства признается неоправданным исключение данных внебюджетных средств из основного баланса учреждения и их включение в «отдельный», поскольку это приводит к наличию «двойной» бухгалтерии в прямом смысле слова.

Заключение. Недостаток средств, выделяемых из государственного бюджета, как количественную характеристику проблемы финансирования образования, а также недостаточно эффективное (или недостаточно обоснованное) распределение бюджетных средств между уровнями образования и образовательными учреждениями как качественную характеристику проблемы финансирования образования указывают на необходимость поиска новых направлений внебюджетных поступлений в государственные вузы. В современных условиях повышенное внимание должно быть уделено вопросам совершенствования механизма финансирования платного сектора образовательных услуг, поиска новых внебюджетных источников финансирования.

Библиографический список

1. Гражданский кодекс РФ: принят 30 ноябр. 1994 г.: ред. 05 апр. 2011 г.

2. Об образовании: федер. закон: принят 10 июл. 1992 г.: ред. 02 февр. 2011 г.

3. О высшем и послевузовском образовании: федер. закон: принят 22 авг. 1996 г.: ред. 02 февр. 2011 г.

4. Лавров А.М. Бюджетная реформа 2001–2008 годов: от управления затратами к управлению результатами / А.М. Лавров // Бюджет. – 2005. – № 10. – С. 4–9.

Материал поступил в редакцию 07.07.11.

References

1. Grazhdanskij kodeks RF: prinyat 30 noyabr. 1994 g.: red. 05 apr. 2011 g. – In Russian.
2. Ob obrazovanii: feder. zakon: prinyat 10 iyul. 1992 g.: red. 02 fevr. 2011 g. – In Russian.
3. O vy`sshem i poslevuzovskom obrazovanii: feder. zakon: prinyat 22 avg. 1996 g.: red. 02 fevr. 2011 g. – In Russian.
4. Lavrov A.M. Byudzhetnaya reforma 2001–2008 godov: ot upravleniya zatratami k upravleniyu rezul`tatami / A.M. Lavrov // Byudzhet. – 2005. – # 10. – S. 4–9. – In Russian.

PRINCIPAL DIRECTIONS OF EXTRABUDGETARY FUNDS IN HIGHER VOCATIONAL EDUCATION SYSTEM

O.G. ANANOVA
(Don State Technical University)

The efforts of state higher educational institutions to attract extrabudgetary funds are analyzed. The analysis of the current problems, sources and prospects of income from the independent statutory activity is made.
Keywords: *state higher educational institution, extrabudgetary funds, quality of education, for-profit educational services.*

УДК 338.242.42

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ ПЕРИОДА ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА РОССИИ

Т.А. ГРОШЕВА
(Югорский государственный университет)

Рассматривается роль механизмов социально-экономической стабилизации в условиях экономического роста. Предлагаются различные подходы к классификации автоматических стабилизаторов. Проводится анализ налоговых и социальных стабилизаторов России периода экономического роста 2000–2008 гг. *Характеризуются новые глобальные вызовы и возможности трансформации социально-экономических стабилизаторов в современной России.*
Ключевые слова: *социально ориентированная экономика, экономическое развитие, фискальная политика, встроенный стабилизатор.*

Введение. Кратковременное резкое снижение цен на энергоносители, вызванное мировым экономическим кризисом 2008–2009 гг., сменилось уверенным их ростом. Цены на нефть достигли докризисного уровня, экономика России переживает очередной подъем, а мировая экономика готовится к новым потрясениям. В складывающихся условиях весьма актуальным становится анализ уже разработанных и успешно опробованных в период экономического роста 2000–2008 гг. механизмов управления социально-экономической системой России, а также тех изменений, которые вызваны новыми, проявившимися в последние годы, вызовами.

Сущность и основные виды экономических стабилизаторов. Для современной социально-экономической системы характерно многообразие методов, форм и инструментов государственного регулирования. Подобное многообразие побуждает экономистов к использованию различных классификационных подходов. Различаются, в частности, методы: административные и экономические, прямые и косвенные, фискальные и монетарные, дискреционные и недискреционные. Под дискреционной политикой понимается политика оперативного управления, которая имеет место в изменяющихся экономических условиях. Недискреционные меры следует рассматривать как меры автоматического управления, позволяющие избежать негативных социально-экономических последствий либо сгладить их. Недискреционные механизмы экономического регулирования принято называть встроенными стабилизаторами.

В регулировании современной социально-экономической системы, сталкивающейся в последние годы с все новыми финансовыми, социальными, экологическими и природными вызовами, недискреционные механизмы приобретают решающее значение, а практика их использования претерпевает существенные изменения:

– разрабатываются и внедряются новые стабилизаторы;

– проблематичным становится отказ от уже действующих стабилизационных механизмов;

– возникает мощный социальный эффект стабилизации, трансформирующий социально-экономическую систему стран;

– осуществляется постепенный переход с национального на международный (глобальный) уровень распространения данных механизмов.

Экономические потрясения первой половины двадцатого века обусловили необходимость активного вмешательства государства в регулирование экономических процессов. Воздействие государства на социально-экономическое развитие, система мер антициклического характера (мер компенсирования, предназначенных для поддержания устойчивости) предусматривали, среди прочего, использование «встроенных механизмов гибкости». Обобщив предложения в области фискальной политики конца сороковых годов двадцатого века, американский экономист, предста-

витель неокейнсианства Элвин Хансен обосновал теоретическую концепцию автоматических стабилизаторов. В его исследовании «Экономические циклы и национальный доход» прогрессивный подоходный налог, система страхования от безработицы, поддержание цен на фермерскую продукцию – механизм, который в состоянии глушить циклические колебания, автоматически реагируя на изменение состояния социально-экономической системы и не требуя сознательного управления [1].

Разработав теорию хозяйственных порядков и принципы взаимосвязанной экономической политики, представитель фрайбургской школы Вальтер Ойкен предложил систему прогрессивных налогов рассматривать не как инструмент, «препятствующий чересчур активному накоплению», а как механизм корректировки процесса распределения [2].

Вслед за немецкими теоретиками социально-рыночного хозяйства (А. Мюллер-Армак, Л. Эрхард и др.) экономическую систему большинства развитых стран второй половины двадцатого века стали называть социально ориентированной рыночной экономикой (СОРЭ).

Наиболее распространенным в современной экономической литературе является определение СОРЭ как хозяйственного порядка, в котором главенствует рыночный принцип координации экономической деятельности, сочетающийся с развитой системой социальной защиты населения. Отвечающие потребностям данной системы механизмы стабильности включают меры уравновешивания, призванные обеспечить не просто сглаживание амплитуды циклических колебаний, но и определенное социальное сглаживание. В качестве социальных стабилизаторов рассматриваются гарантии бесплатного образования, налоги на наследование и дарение, а также меры регионального выравнивания [3]. Таким образом, стабилизаторы должны использоваться уже не только как относительно эффективные антициклические меры, но и как элементы социальной ориентации экономики.

Механизмы управления современной социально-экономической системой должны обеспечивать дополнительно к экономическому и социальному прогрессу еще и «устойчивое развитие», что предполагает необходимость приведения в равновесие потребностей человека, возможностей окружающей среды и условий действия конкурентного рынка. Устойчивость может выражаться в сдерживании экономической активности и потребления текущих поколений в пользу будущих. Дополнительной функцией социально-экономического стабилизатора становится выравнивание расходования ресурсов во времени. В качестве одного из механизмов обеспечения устойчивости рассматриваются стабилизационные фонды.

К социально-экономическим стабилизаторам современная экономическая теория относит прогрессивные подоходные налоги, налоги на наследование и дарение, пособия по безработице, систему бесплатного образования, меры регионального выравнивания (районные коэффициенты, северные надбавки и льготы в РФ), дотации сельхозпроизводителям, меры поддержки предпринимательства и стабилизационные фонды.

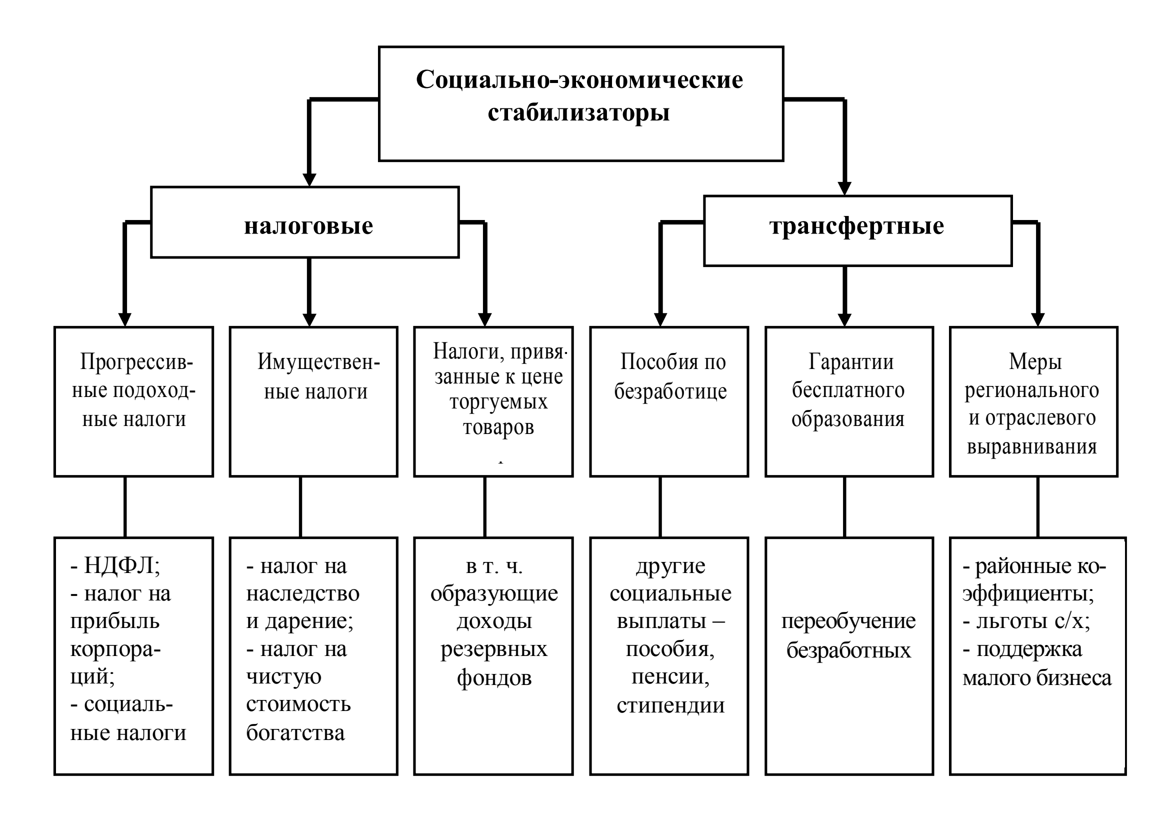
Следовательно, объединяющими признаками всех социально-экономических стабилизаторов являются:

– фискальный характер – все стабилизаторы можно подразделить на налоговые (формирующие доходы государственного бюджета) и трансфертные (относящиеся к бюджетным расходам) (см. рисунок);

– стабилизирующая роль – воздействие на циклические колебания ВВП и уровень его дифференциации, за счет данных механизмов могут сглаживаться не только текущие, но и межвременные дифференциации (расходы текущих и доходы будущих поколений);

– автоматическое управление – в качестве инструментов управления макроэкономическими процессами данные механизмы введены в хозяйственную практику и не требуют от правительства принятия оперативных мер (отсутствуют временные лаги дискреционной фискальной политики).

Параметры «стабилизаторов» длительное время могут оставаться неизменными.



Основные социально-экономические стабилизаторы

В соответствии с выполняемой стабилизирующей функцией можно выделить:

– экономические стабилизаторы – обеспечивают сглаживание амплитуды циклических колебаний и являются, соответственно, стабилизаторами экономического роста;

– социальные стабилизаторы – оптимизируют текущие экономические дифференциации, способствуют социальной стабильности;

– стабилизаторы устойчивости – сглаживают межвременные дифференциации, сдерживают расходы нынешних поколений и сохраняют (создают) потенциал роста доходов будущих поколений.

Конкретный стабилизационный механизм может выполнять одну или одновременно несколько функций, поэтому следует различать универсальные и специфические стабилизаторы. Так, например, исключительно социальным стабилизатором выступают налоги на чистую стоимость богатства, а универсальным является система страхования по безработице.

Налоговые стабилизаторы России периода экономического роста. Период экономического роста (2000–2008 гг.) России характеризовался становлением системы стабилизационного воздействия, специфика, причины и последствия использования или отказа от применения отдельных социально-экономических стабилизаторов которой являются предметом дальнейшего анализа.

Прогрессивное подоходное налогообложение физических лиц выполняет функции как экономического, так и социального стабилизатора. Ограничивающими факторами его использования является сложность администрирования и масштабный теневой сектор. На стадии экономического роста увеличение предельной налоговой ставки сдерживает рост располагаемых доходов населения, ограничивает «излишние» сбережения, выполняет социальную функцию, регулируя экономические дифференциации, и обеспечивает прирост государственных налоговых доходов. На стадии спада стабилизатор действует в противоположном направлении.

Рост издержек администрирования, низкая фискальная эффективность и «излишняя» сдерживающая функция в условиях необходимости стимулирования инвестиционной активности – основные причины отказа от прогрессивной шкалы налога на доходы физических лиц в России (2001 г.). В результате налоговые механизмы не сдерживали, а стимулировали экономический подъем, обеспечивая высокие темпы роста как потребительских расходов, так и налоговых поступлений в бюджет.

Усиление фискальной значимости налога на доходы физических лиц (НДФЛ) с отменой прогрессивной шкалы сопровождалось существенным ростом личных располагаемых доходов населения – на 7–15% в год в постоянных ценах. Аналогичные показатели в Германии за тот же период – 0,2–1%, США – 2–4%, Японии – 1–2%, Франции – 0,5–3% [4]. Прогрессивность «плоской шкалы» в России сформировалась за счет легализации части доходов в условиях усиления налогового надзора и внедрения системы налоговых льгот и вычетов [5], что позволило частично снизить налоговую нагрузку граждан со средними доходами и смягчить проблему социальной «несправедливости».

В условиях замедления экономического роста стимулирующая функция НДФЛ с одной из самых низких налоговых ставок в мире очевидна, но проблема социальной «несправедливости» «плоской шкалы» является крайне острой и активно обсуждается в научных кругах России (Ю. Шмелев, В. Иноземцев, М. Делягин и др.).

Современное российское правительство сохраняет приверженность «плоской шкале». К результатам ее внедрения следует отнести и повышение эффективности работы налоговых органов, формирование у населения «культуры» налогового декларирования (за счет внедрения системы налоговых вычетов), а также увеличение социальной ответственности бизнеса.

Альтернативными считаются имущественные налоги, обеспечивающие выравнивание стартовых условий экономической деятельности. Однако сложность и высокие затраты на администрирование, низкий фискальный эффект, определенные противоречия с конституционными правами затрудняют их использование. Налог на чистую стоимость богатства взимается, например, только в 14 странах мира [6], а в современной России данный налог, как и отмененные с 2006 г. налоги на наследование и дарение, отсутствует.

Ключевым социально-экономическим стабилизатором России являются налоги, база которых привязана к цене торгуемых товаров, и одновременно установлен норматив резервирования части налоговых доходов в специально созданных фондах. В фазе экономического роста высокий уровень мировых цен обеспечивает повышение налоговой нагрузки предприятий-экспортеров. Данный налоговый стабилизатор позволяет сдерживать рост доходов фирм, «излишнее» инвестирование и чрезмерную эксплуатацию природных ресурсов, сглаживает экономические дифференциации, существенно увеличивает налоговые доходы государства, одновременно ограничивая и государственные расходы. На стадии спада при изменении внешних экономических условий адекватно работающий стабилизатор сокращает нагрузку на нефтяной сектор (в России), а накопленные запасы в резервных фондах компенсируют госбюджету падение налоговых доходов. Определенные ограничения использования данного стабилизатора связаны с непредсказуемостью динамики мировых цен, например, на энергоносители и противоречивостью механизма управления средствами стабилизационных фондов.

Стабилизационный фонд предполагает наличие механизмов его формирования, управления и использования. Фонд формируется за счет перераспределения налоговых поступлений от экспортно-ориентированных предприятий. Сдерживающая функция фонда в условиях экономического роста очевидна, особенно при условии размещения средств в иностранные активы. Стимулирующая роль в фазе кризиса заключается в возможности сохранения (и даже усиления) программ социальной защиты, создании рабочих мест, повышении промышленного и научно-технологического потенциала – тех антикризисных мероприятий, осуществление которых без расходования средств фонда было бы крайне затруднительным. Дискуссионный вопрос управления

средствами фонда разрешим при четком определении целей его создания. Аккумулирование конъюнктурных доходов на случай кризисной ситуации должно предполагать наличие определенного набора мер экономической политики по «сглаживанию» кризисных явлений и адаптации социально-экономической системы к новым реалиям.

Стабилизационный фонд Российской Федерации, основанный 1 января 2004 г., с февраля 2008 г. разделен на Резервный фонд и Фонд национального благосостояния. Резервный фонд РФ предназначен для покрытия дефицита государственного бюджета, а Фонд национального благосостояния – дефицита Пенсионного фонда РФ. До середины 2008 г. механизм стабилизационных фондов обеспечивал аккумулирование денежных средств и «связывание излишней ликвидности». За период с 2005 по 2007 гг. по данным Минфина РФ средства Стабилизационного фонда расходовались только на погашение внешних долговых обязательств (647,4 млрд руб. – 2005 г., 604,72 млрд руб. – 2006 г. и 33,73 млрд руб. – 2007 г.); покрытие дефицита Пенсионного фонда РФ (30 млрд рублей – 2005 г.) и капитализацию институтов развития – внесение имущественного взноса РФ в уставный капитал Внешэкономбанка и Российской корпорации нанотехнологий (300 млрд рублей – 2007 г.) [7].

В 2009 г. Резервный фонд стал выполнять функции стимулирующего финансового стабилизатора, обеспечивая восполнение выпадающих бюджетных доходов и покрытие дополнительных бюджетных расходов. Из Резервного фонда за 2009–2010 гг. перечислено около 4060 млрд руб. на финансовое обеспечение сбалансированности федерального бюджета, около 180 млрд руб. на обеспечения нефтегазового трансферта и 24,5 млрд руб. на финансирование дефицита бюджета Фонда социального страхования РФ [8]. Наличие резервных средств позволило российскому Правительству в 2009–2010 гг. не только продолжить выполнение ранее взятых на себя социальных обязательств, но и запланировать усиление отдельных социально-экономических стабилизаторов – увеличение размера пособий по безработице, повышение государственных расходов на образование и введение системы мер поддержки малого бизнеса.

Международная практика свидетельствует о том, что за счет использования комплекса налоговых стабилизаторов можно сформировать относительно эффективное антициклическое и социальное управление. В России периода экономического роста правительство использовало наиболее легкие в администрировании и наименее укрываемые «нефтегазовые» налоги. Это позволило создать «подушку безопасности» в условиях отсутствия традиционных налоговых стабилизаторов (прогрессивных подоходных и имущественных налогов) и в период экономического спада избежать экстренных корректировок существующей налоговой системы. Стабилизационные фонды не только сработали как относительно эффективные антициклические меры, но и создали материальную основу для значительного усиления социальной стабилизации, необходимость которой для российского общества очевидна.

Система социальных трансфертов в России. Универсальным стабилизационным механизмом, связанным с расходными обязательствами государства, является эффективно действующая система страхования по безработице. При условии неизменности ее основных параметров (размера пособия и максимальных сроков его выплаты) в фазе роста ВВП повышение реальной заработной платы, снижение уровня замещения и сокращение числа безработных формирует бюджетный профицит (неокейнсианский подход). При рецессии сокращение занятости увеличивает госрасходы, а сокращение фонда оплаты труда снижает поступление социальных налогов. В качестве социального стабилизатора пособие по безработице со средним уровнем замещения и высокой долей регистрируемых безработных оказывает сдерживающее воздействие на экономические дифференциации. А активная политика переквалификации безработных (особенно в период кризиса) может рассматриваться как государственные инвестиции в человеческий капитал, формирующие основы устойчивого развития. Ограничивающими факторами использования системы страхования по безработице является снижение мобильности рабочей силы и иждивенчество.

Статистические данные по России характеризуют отечественную систему страхования по безработице как относительно эффективный экономический и малоэффективный социальный стабилизатор (таблица).

Социально-экономические индикаторы системы страхования по безработице в России*

Индикаторы	Количество на конец года								
	1992	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Занятые, тыс. чел.	71171	64055	65273	67152	67134	68603	69157	70814	70603
Безработные, тыс. чел.	3889	6684	7059	5683	5775	5208	4999	4246	5289
Безработные, зарегистрированные в государственных учреждениях службы занятости, тыс. чел.	578	2327	1037	1639	1920	1830	1742	1553	1522
Безработные, которым назначено пособие, тыс. чел.	371	2026	909	1305	1624	1570	1522	1305	–
Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций, руб.	6000	472400	2223	5498	6739	8555	10634	13593	17226
Среднемесячный размер выплат по безработице, руб.	1000	98600	403	830	715	990	1070	1005	–
Минимальный размер пособия (на 1 января), руб.	МРОТ	МРОТ	МРОТ**	100	100	720	720	720	781
Максимальный размер пособия (на 1 января), руб.	–	–	–	ПМ***	ПМ	2880	2880	2880	3124
Прожиточный минимум, руб.	1900	264000	1210	2112	2376	3018	3422	3847	4559
Отношение численности зарегистрированных безработных к общей численности безработных, %	14,9	34,7	14,8	28,7	33,3	35,1	34,8	36,7	28,8
Отношение среднего размера выплат по безработице к средней заработной плате – уровень замещения, %	16,4	20,9	25,5	15	10,6	11,6	10,0	7,4	–

Примечание: * Источники: данные и расчеты по данным Федеральной службы государственной статистики и Министерства здравоохранения и социального развития;
** МРОТ – минимальный размер оплаты труда;
*** ПМ – прожиточный минимум.

Анализ приведенных в таблице данных показывает, что за период экономического роста в России численность как общих, так и регистрируемых безработных постепенно сокращалась, средняя заработная плата повышалась, а средний размер пособия практически не изменялся. Следовательно, для государства данный социальный трансферт становился все менее обременительным. Это позволяет сделать вывод об относительной эффективности системы страхования по безработице как сдерживающего экономического механизма. Однако в условиях, когда большин-

ству получателей пособия оно назначалось в минимальном размере (в 2006 г. 70,9% безработных получали минимум), а фактический уровень «замещения» снизился к 2007 г. до 7,4%, очевидна низкая эффективность этой системы как социального стабилизатора. Этим объясняются экстренные меры российского правительства в конце 2008 г., направленные на увеличение размера выплат безработным и усиление социальной значимости системы страхования по безработице.

Повышение величины минимального и максимального размера пособия по безработице с 2009 г. до 850 и 4900 руб. соответственно не привели к существенным изменениям в российской системе страхования по безработице. По данным за 2010 г. общее число безработных составляет 5,6 млн человек, а уровень регистрируемой безработицы к общей численности безработных – 34% [9].

Действие системы бесплатного образования как стабилизационного механизма в период экономического роста в России было ослаблено. С одной стороны, рост реальной заработной платы обусловил повышение альтернативных издержек обучения в средне-специальных и высших учебных заведениях. С другой стороны, низкий уровень регистрируемой безработицы не способствовал развитию системы курсов по переподготовке и повышению квалификации. Государственные расходы на образование в России периода экономического роста составляли 3 – 4% ВВП, в то время как в большинстве ведущих стран мира того же периода – 5–8% ВВП [1]. С учетом важности социальной составляющей данного стабилизатора существенное увеличение числа бюджетных мест в учебных заведениях России с 2009 г. является вполне закономерной реакцией правительства на экономический кризис.

Все остальные трансфертные стабилизаторы (см. рисунок), в России к началу экономического спада были либо крайне ослаблены (меры регионального выравнивания), либо находились в стадии формирования (например, меры поддержки приоритетных отраслей в рамках особых экономических зон).

Следует отметить, что исключительно налоговые сборы в нефтяном секторе рассматриваются как инструменты экономической политики России 2009 г., адекватно работающие встроенные стабилизаторы [10]. Высокая нефтезависимость национальной экономики и благоприятная ценовая конъюнктура рынка нефти позволили данным налогам автоматически оказывать существенное сдерживающее воздействие в период экономического роста и стимулирующее на стадии спада. Одновременное резервирование средств в специальных фондах сформировало материальную основу для активной антициклической и социальной политики.

Современные социально-экономические системы ведущих стран мира (прежде всего речь идет о Большой двадцатке) столкнулись за последние годы, как минимум, с тремя беспрецедентными по своим масштабам вызовами:

– *экономическим* – мировой финансовый кризис 2008–2009 гг.;

– *экологическим* – разлив нефти на платформе корпорации *BP* в Мексиканском заливе 2010 г.;

– *природным* – землетрясение в Японии 2011 г.

Общим для указанных событий является осознание международной общественностью не только сложности их оперативного регулирования, но и крупномасштабности. Первой реакцией правительств стран мира на данные вызовы явилось использование оперативных мер прямого экономического регулирования (мер дискреционной политики), направленных на ликвидацию возникших угроз. Краха финансовой системы удалось избежать, предоставив банкам дополнительные денежные средства и улучшив макроэкономические условия их деятельности. На борьбу с экологической катастрофой и ее последствиями были потрачены значительные бюджетные ресурсы. Ущерб от землетрясения в Японии оценивается только в масштабах национальной экономики суммами в десятки миллиардов долларов.

Ответной реакцией общества на селективные правительственные меры в США и Западной Европе стала волна недовольства налогоплательщиков, связанная и с банковскими бонусами, вы-

плачиваемыми проблемными банками в период кризиса, и с необходимостью привлечения компании *BP* к ответственности не только за экологические, но и экономические (прежде всего проявившиеся в запрете на осуществление определенных видов бизнеса и потере дохода множеством малых предприятий) последствия аварии. В результате необходимость использования альтернативных прямым методам долгосрочных «встроенных» инструментов регулирования подобных глобальных событий становится очевидной не только власти, но и широкой общественности. Речь сегодня идет не просто о повсеместном распространении правил страхования на национальном уровне, но и в перспективе о создании глобальных финансовых и экологических стабилизационных механизмов [12].

Стратегические задачи России по сокращению сырьевой зависимости и инновационному развитию, повышению уровня и качества жизни населения заставляют задуматься как об эффективности текущих, так и о перспективах создания и совершенствования комплексных стабилизационных механизмов. Население, обеспокоенное событиями глобального масштаба, ждет от правительства не просто усиления социально-экономической политики, а формирования эффективной системы стабилизации, способной создать основу социально ориентированной экономики устойчивого развития.

Заключение. Анализ, проведенный в статье, позволяет сформулировать выводы, отражающие текущее состояние и перспективы трансформации системы социально-экономической стабилизации РФ.

1. Наиболее широко используемыми, относительно легко изменяемыми и отменяемыми являются налоговые стабилизаторы. С позиции антициклического регулирования налоговые механизмы могут рассматриваться как взаимозаменяемые. В России отсутствие прогрессивной системы подоходного налогообложения как экономического стабилизатора было компенсировано внедрением налогов, база которых привязана к цене торгуемых товаров с одновременным установлением норматива резервирования части налоговых доходов в специально созданных фондах. Представляется обоснованным, что дальнейшее расширение числа стабилизационных механизмов будет происходить именно за счет распространения налоговых стабилизаторов.

2. Принимаемые государством в условиях экономического подъема различные социальные обязательства, выполнимые в текущий момент, могут быть не профинансированы следующими поколениями налогоплательщиков. Опасения «провала государства» с его масштабным перераспределительным механизмом формируют сдержанное отношение российского правительства к трансфертным механизмам. Однако очевидная слабость социальной ориентации российской экономики, а также высокая значимость систем социального страхования в накоплении «человеческого капитала» страны являются стимулами для усиления социальных функций действующих механизмов стабилизации.

3. Крупномасштабные малопредсказуемые события, являющиеся результатом как экономической деятельности, так и природных сил, требуют аккумуляции значительных финансовых ресурсов, способных компенсировать последствия данных финансовых, экологических и природных катаклизмов. Дальнейшее расширение масштабов и количества стабилизационных фондов – нефтяных, экологических, банковских и т. п. – как на национальном, так и на международном уровне является неизбежным. Внедрение подобных механизмов существенным образом трансформирует как саму социально-экономическую систему, так и систему публичного управления.

Библиографический список

1. Хансен Э. Экономические циклы и национальный доход / Э. Хансен; пер. с англ. Э.Г. Лейкина, Л. Я. Розовского. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 760 с.

2. Ойкен В. Основные принципы экономической политики: пер. с нем. / В. Ойкен; общ. ред. Л.И. Цедилина и К. Херрманн-Пиллата. – М.: Прогресс, 1995. – 496 с.

3. Социальное рыночное хозяйство и разновидности капитализма / П. Козловски // Социальное рыночное хозяйство: Теория и этика экономического порядка в России и Германии: пер. с нем. / под ред. В.С. Автономова. – СПб.: Экономическая школа, 1999. – 368 с.

4. Располагаемый доход домашних хозяйств. [Электронный ресурс] // Социальное положение и уровень жизни населения России – 2008 г. / Федер. служба гос. статистики.– Режим доступа: www.gks.ru/bgd/regl/b08_44/isswww.exe/stg/html3/16-07.htm.

5. Реформа налогообложения доходов населения в России: результаты в 2000-2007 гг. / [Л. Анисимова и др.]; Ин-т экономики переход. периода. – М.: ИЭПП, 2008. – 256 с.

6. Лыкова Л. Налоги на чистую стоимость богатства / Л. Лыкова // Мировая экономика и международные отношения. – 2008. – № 8.

7. Остатки на отдельных счетах по учету средств Стабилизационного фонда Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.minfin.ru/ru/stabfund/statistics/remains/.

8. Движение средств и остатки на отдельных счетах по учету средств Резервного фонда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www1.minfin.ru/ru/reservefund/.

9. Государственные расходы на образование и здравоохранение. [Электронный ресурс] // Социальное положение и уровень жизни населения России – 2008 г. / Федер. служба гос. статистики.– Режим доступа: www.gks.ru/bgd/regl/b08_44/isswww.exe/stg/html3/16-19.htm.

10. Кудрин А. Мировой финансовый кризис и его влияние на Россию / А. Кудрин // Вопросы экономики. – 2009. – № 1. – С. 9–27.

11. Динамика численности экономически активного населения. [Электронный ресурс] / Федер. служба гос. статистики– Режим доступа: www.gks.ru/bgd/regl/b11_01/isswww.exe/stg/d01/3-2.htm.

12. Грошев А.Р. Социальные аспекты современных механизмов экономической и экологической стабилизации / А.Р. Грошев, Т.А. Грошева // Актуальные проблемы экономики и менеджмента: коллективная монография / С.М. Крымов [и др.]; под общ. ред. С.М. Крымова. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – С. 81–92.

Материал поступил в редакцию 28.07.11.

References

1. Xansen E`. E`konomicheskie cikly` i nacional`ny`j doxod / E`. Xansen; per. s angl. E`.G. Lejkina, L. Ya. Rozovskogo. – M.: Izd-vo inostrannoj literatury`, 1959. – 760 s. – In Russian.

2. Ojken V. Osnovny`e principy` e`konomicheskoj politiki: per. s nem. / V. Ojken; obshh. red. L.I. Cedilina i K. Xerrmann-Pillata. – M.: Progress, 1995. – 496 s. – In Russian.

3. Social`noe ry`nochnoe xozyajstvo i raznovidnosti kapitalizma / P. Kozlovski // Social`noe ry`nochnoe xozyajstvo: Teoriya i e`tika e`konomicheskogo poryadka v Rossii i Germanii: per. s nem. / pod red. V.S. Avtonomova. – SPb.: E`konomicheskaya shkola, 1999. – 368 s. – In Russian.

4. Raspolagaemy`j doxod domashnix xozyajstv [E`lektronny`j resurs] // Social`noe polozhenie i uroven` zhizni naseleniya Rossii – 2008 g. / Feder. sluzhba gos. statistiki. – Rezhim dostupa: www.gks.ru/bgd/regl/b08_44/isswww.exe/stg/html3/16-07.htm. – In Russian.

5. Reforma nalogooblozheniya doxodov naseleniya v Rossii: rezul`taty` v 2000-2007 gg. / [L. Anisimova i dr.]; In-t e`konomiki perexod. perioda. – M.: IE`PP, 2008. – 256 s. – In Russian.

6. Ly`kova L. Nalogi na chistuyu stoimost` bogatstva / L. Ly`kova // Mirovaya e`konomika i mezhdunarodny`e otnosheniya. – 2008. – # 8. – In Russian.

7. Ostatki na otdel`ny`x schetax po uchyotu sredstv Stabilizacionnogo fonda Rossijskoj Federacii [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: www.minfin.ru/ru/stabfund/statistics/remains/. – In Russian.

8. Dvizhenie sredstv i ostatki na otdel`ny`x schetax po uchyotu sredstv Rezervnogo fonda [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: www1.minfin.ru/ru/reservefund/. – In Russian.

9. Gosudarstvenny`e rasxody` na obrazovanie i zdravooxranenie [E`lektronny`j resurs] // Social`noe polozhenie i uroven` zhizni naseleniya Rossii – 2008 g. / Feder. sluzhba gos. statistiki. – Rezhim dostupa: www.gks.ru/bgd/regl/b08_44/isswww.exe/stg/html3/16-19.htm. – In Russian.

10. Kudrin A. Mirovoj finansovy`j krizis i ego vliyanie na Rossiyu / A. Kudrin // Voprosy` e`konomiki. – 2009. – # 1. – S. 9–27. – In Russian.

11. Dinamika chislennosti e`konomicheski aktivnogo naseleniya [E`lektronny`j resurs] / Feder. sluzhba gos. statistiki. – Rezhim dostupa: www.gks.ru/bgd/regl/b11_01/isswww.exe/stg/d01/3-2.htm. – In Russian.

12. Groshev A.R. Social`ny`e aspekty` sovremenny`x mexanizmov e`konomicheskoj i e`kologicheskoj stabilizacii / A.R. Groshev, T.A. Grosheva // Aktual`ny`e problemy` e`konomiki i menedzhmenta: kollektivnaya monografiya / S.M. Kry`mov [i dr.]; pod obshh. red. S.M. Kry`mova. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2010. – S. 81–92. – In Russian.

ECONOMIC AND SOCIAL STABILIZERS UNDER ECONOMIC GROWTH PERIOD IN RUSSIA

T.A. GROSHEVA
(Yugra State University)

The role of socio-economic stabilization mechanisms under the economic growth is considered. Various approaches to the classification of automatic stabilizers are discussed. Some tax and social stabilizers under the economic growth period of 2000–2008 in Russia are analyzed. Some new global challenges and transformation opportunities of social and economic stabilizers in present-day Russia are described.

Keywords: *socially oriented economy, economic development, fiscal policy, automatic stabilizer.*

УДК 330.14

ОЦЕНКА РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЕРЕХОДА ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА НА ИННОВАЦИОННОЕ СОЦИАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОЕ РАЗВИТИЕ

Г.И. ПОПОДЬКО
(Институт экономики организации производства Сибирского отделения Российской академии наук)

Рассматривается проблема ресурсного обеспечения инновационного социально ориентированного развития региона. Дается определение ресурсного потенциала и его составляющих. Для оценки ресурсного потенциала предлагается система индикаторов, характеризующих каждый вид ресурсов. Предлагается метод количественной оценки ресурсных составляющих и ресурсного потенциала, позволяющий определить уровень его развития.
Ключевые слова: *ресурсы, потенциал, инновационное социально ориентированное развитие, регион.*

Введение. Для перехода экономики региона на инновационное социально ориентированное развитие требуются ресурсы как организационного, так и материального характера. Восстановление и развитие предприятий, производящих высокотехнологичные продукты, создание и возрождение производств, ориентированных на конечное потребление, представляют собой сложнейшую задачу, на решение которой может уйти немало времени. В настоящее время актуальной является проблема оценки ресурсных возможностей региона для реализации такого перехода.

Определение ресурсного потенциала обеспечения инновационного социально ориентированного развития региона. В научной литературе широко обсуждается проблема потенциала, ресурсного потенциала для инновационного развития, инновационного потенциала. Между этими понятиями существует определенная взаимосвязь. Однако до сих пор по поводу их определения нет единого мнения.

Под потенциалом понимают резервы, возможности, способности объектов, ресурсов, факторов. Так, например, А.А. Шалмуев определяет потенциал как «возможности, способности, скрытые, нереализованные резервы изучаемого объекта, которые при изменении окружающих условий могут перейти из возможности в действительность» [1]. Д.И. Конкурин считает, что потенциал – это неиспользованные, скрытые возможности накопленных ресурсов, которые могут быть приведены в действие для достижения целей экономических субъектов [2].

По нашему мнению, потенциал – это совокупность ресурсов (в виде материальных запасов, средств, условий, факторов), которыми располагает в данный момент та или иная территория, возможности которых могут быть задействованы для реализации поставленной цели.

Многие исследователи убеждена, что сам по себе потенциал, его оценка имеют значение только в связи с реализацией определенной цели. Иначе говоря, о потенциале, всегда имеют в виду определение ресурсов, их возможностей, резервов (в том числе и скрытых) для достижения конкретной цели.

В нашем случае цель определения ресурсного потенциала – оценка инновационного социально ориентированного развития региона.

Понятие «потенциал» связано с понятием «ресурсы», т. е. совокупностью факторов материального и нематериального характера, используемых для достижения определенной цели.

Нередко понятия «ресурсы» и «потенциал» подменяются. Это можно объяснить тем, что зачастую ресурсная составляющая потенциала представляет собой сложный комплекс отраслей и видов деятельности, который, в свою очередь, может быть рассмотрен как потенциал для достижения определенной цели.

В общем виде определение потенциала для реализации поставленной цели может быть представлено структурно (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм определения потенциала

Согласно Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г., инновационный социально ориентированный тип развития может быть обеспечен модернизацией традиционных и развитием высокотехнологичных отраслей производства, а также совершенствованием системы образования, науки и других отраслей, которые при высоком уровне их развития могут внести весомый вклад в создание валового внутреннего продукта (формирование экономики знаний) [3]. В этом случае структура ресурсного потенциала для достижения поставленной нами цели может быть представлена следующим образом (табл. 1).

Таблица 1

Ресурсный потенциал перехода экономики региона
на инновационное социально ориентированное развитие

Цель	Ресурсный потенциал
Инновационное социально ориентированное развитие региона	Производственно-технические ресурсы
	Инвестиционные ресурсы
	Кадровые ресурсы
	Ресурсы инновационного развития

Ресурсные составляющие могут быть оценены определенной системой показателей. Критерием отбора показателей является полнота характеристики состояния и простота расчетов (табл. 2).

Таблица 2

Ключевые показатели оценки ресурсных составляющих потенциала

Ресурсная составляющая потенциала	Показатель оценки
Производственно-технические ресурсы	Коэффициент годности ОПФ по видам экономической деятельности: - добыча полезных ископаемых; - обрабатывающие производства; - производство и распределение электроэнергии, газа и воды
Инвестиционные ресурсы	- объем инвестиций на душу населения; - доля производственных инвестиций; - доля накопления основного капитала в валовой добавленной стоимости
Кадровые ресурсы	- число высших учебных заведений на 10 000 населения; - число студентов ВПО на 10 000 населения; - число студентов СПО на 10 000 населения
Ресурсы инновационного развития	- инновационная активность, %; - количество выданных патентов на 10 тыс. чел.; - число используемых передовых технологий в расчете на одну тыс. производственных предприятий

Для количественной оценки ресурсного потенциала и его составляющих, а также качественной оценки уровня его развития, предлагается методика расчета относительных показателей.

1. Каждый из показателей оценки ресурсной составляющей в регионе сравнивается с данным показателем в Российской Федерации:

$$J_n = \frac{K_n}{M_n},$$

где K_n – значение n-го показателя в регионе, M_n – значение n-го показателя в Российской Федерации, $n = 1 \ldots g$ – ресурсные составляющие.

2. Если $\sum_{n=1}^{g} \frac{J_n}{g} > 1$ для $n = 1 \ldots g$, уровень ресурсной составляющей потенциала высокий.

3. Если $\sum_{n=1}^{g} \frac{J_n}{g} < 1$ для $n = 1 \ldots g$, уровень ресурсной составляющей низкий.

4. Если $\sum_{n=1}^{g} \frac{J_n}{g} \approx 1$ для $n = 1 \ldots g$, уровень развития ресурсной составляющей потенциала средний.

Общая количественная оценка ресурсного потенциала региона строится на основе общей оценки ресурсных составляющих. Общая оценка ресурсного потенциала особенно важна, когда мы имеем дело с разнонаправленными оценками ресурсных составляющих потенциала (например, когда один из ресурсов оценивается как «низкий», а другой как «средний» или «высокий»). Для этого с помощью экспертных оценок каждому из ресурсных составляющих присваивается весовой коэффициент, который умножается на значение J_n.

$$D = \sum_{f=1}^{t} \frac{\sum_{n=1}^{g} \frac{J_n}{g} a_f}{t},$$

где a_f – весовой коэффициент n-ой ресурсной составляющей, оцененной f-ым экспертом, $f = 1 \ldots t$.

Весовые коэффициенты выражаются в баллах, сумма которых равна 1. Определение весовых коэффициентов базовых показателей ресурсного потенциала региона осуществляется с целью суммирования выбранных показателей в единый интегральный показатель с учетом мнения нескольких экспертов, которые могут по-разному оценить вклад каждой из ресурсных составляющих в общий ресурсный потенциал.

Количественная оценка ресурсного потенциала носит условный характер и рассчитывается для определения уровня развития ресурсного потенциала и сравнения с другими регионами.

В этом случае, если $D > 1$, можно говорить о высоком ресурсном потенциале региона, если $D < 1$, это характеризует ресурсный потенциал региона как низкий, если $D \approx 1$, это средний ресурсный потенциал региона.

Оценка ресурсного потенциала региона была проведена на примере Красноярского края, для которого переход на инновационное социально ориентированное развитие рассматривается как перспективная модель экономического развития.

Производственно-технические ресурсы перехода экономики Красноярского края на инновационный социально ориентированный путь развития представляют собой уровень развития производственно-технической базы основных отраслей производства. Одним из показателей оценки производственно-технического состояния основных отраслей производства является коэффициент годности ОПФ* (табл. 3).

* Коэффициент годности рассчитывается как разница между 100% и износом ОПФ.

Таблица 3

Коэффициент годности ОПФ Красноярского края по видам деятельности, %

Показатели	2005	2006	2007	2008	2009
Добыча полезных ископаемых	53,3	58,4	60,6	60,2	59,9
Обрабатывающие производства	67,1	65,2	64,4	63,9	61,4
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	54,6	60,1	58,8	71,1	67,8

Как показывает анализ коэффициентов годности ОПФ по видам экономической деятельности, они близки друг к другу. Однако следует отметить, что если в добыче полезных ископаемых и производстве и распределении электроэнергии, газа и воды коэффициент годности ОПФ растет, то в обрабатывающих отраслях падает. Так, например, разрыв между коэффициентами годности в обрабатывающих производствах и добыче полезных ископаемых в 2005 г. составлял 13,8%, то к 2009 г. он сократился до 1,5%. Это свидетельствует о крайне негативной тенденции старения основных производственных фондов обрабатывающих производств. Техническая база этих отраслей формировалась в 70–80-е гг. прошлого столетия, поэтому продукция, производимая на таком устаревшем оборудовании, не может быть конкурентоспособна не только на внешнем, но и на внутреннем рынке.

Инвестиционные ресурсы являются важнейшим источником обеспечения инновационного социально ориентированного развития региона. Важным здесь являются как объемы инвестиций, так и их структурное распределение.

Об объеме инвестиционных ресурсов, направляемых в экономику региона, можно судить по их сумме в расчете на душу населения (табл. 4).

Таблица 4

Объем инвестиций в расчете на душу населения, руб. / чел.

Регион	2005	2006	2007	2008	2009
Российская Федерация	25232	33196	47259	61861	55883
Сибирский федеральный округ	17537	24638	36223	48367	42523
Красноярский край	24483	31927	41781	70646	85188

Как следует из таблицы, объем инвестиций в экономику Красноярского края является значительным. Так, по состоянию на 2009 г. Красноярский край по объему инвестиций на душу населения занимал первое место в Сибирском федеральном округе. С 2008 г. объем инвестиций в расчете на душу населения в крае выше, чем в среднем по России.

Но важен не только объем инвестиций, но и их структура по видам основных фондов, т. е. распределение между зданиями, сооружениями и машинами, оборудованием, транспортными средствами (табл. 5).

Таблица 5

Структура инвестиций в Красноярском крае по видам основных фондов, % от общей суммы инвестиций

Виды инвестиций	2000	2005	2008	2009
Производственные инвестиции всего	89,6	87,8	82,2	79,4
В том числе: - здания, сооружения (кроме жилых)	40,4	40,8	46,0	50,5
- машины, оборудование	49,2	47,0	36,2	28,9

Наблюдается снижение доли производственных инвестиций, заметно растет доля инвестирования пассивной части основных фондов – зданий и сооружений. Такая тенденция не способствует созданию конкурентоспособного производственного потенциала, обеспечивающего инновационное развитие экономики Красноярского края.

Кадровые ресурсы, необходимые для смены модели экономического развития, в значительной степени определяются уровнем развития среднего специального и высшего образования.

Система среднего профессионального образования (СПО) в Красноярском крае в настоящее время переживает кризис. Это связано, во-первых, с увеличением престижа специалистов с высшим профессиональным образованием, во-вторых, с большей доступностью получения высшего образования в Красноярском крае, в-третьих, с переподчинением системы среднего специального образования субъекту федерации. В этом случае финансирование средних специальных учреждений ведется с учетом потребности в специалистах и выполнением регионального заказа. Это сказывается на количестве студентов СПО в расчете на 10 000 населения, которое сократилось за период 2000–2009 гг. на 14%. Однако в целом показатели развития среднего специального образования в крае выше, чем в среднем в России и Сибирском федеральном округе (рис. 2).

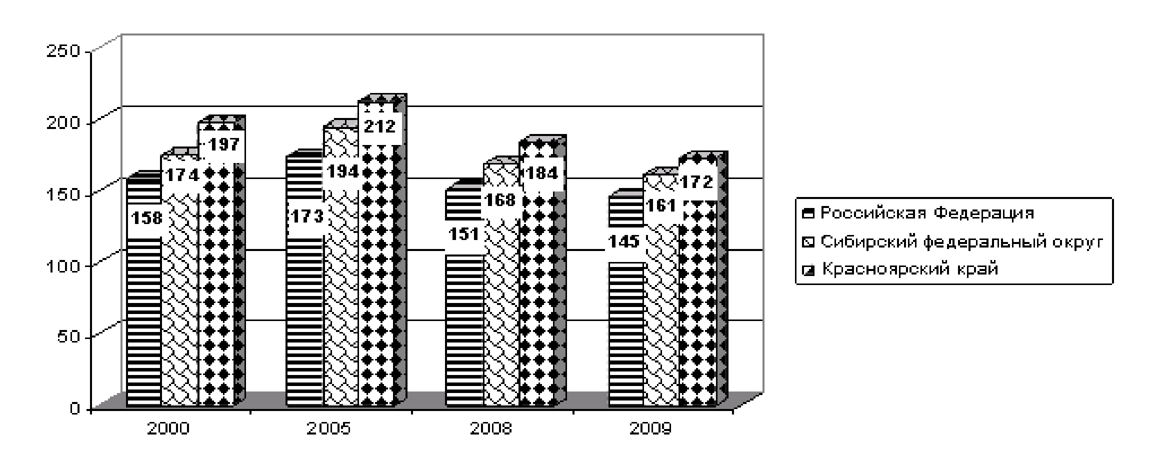


Рис. 2. Численность студентов учреждений СПО на 10 000 населения

Система высшего профессионального образования Красноярского края представлена 13 высшими учебными заведениями. Развитие системы высшего образования ограничено растущей конкуренцией среди вузов как в соседних регионах, так и в центральной части страны (рис. 3).

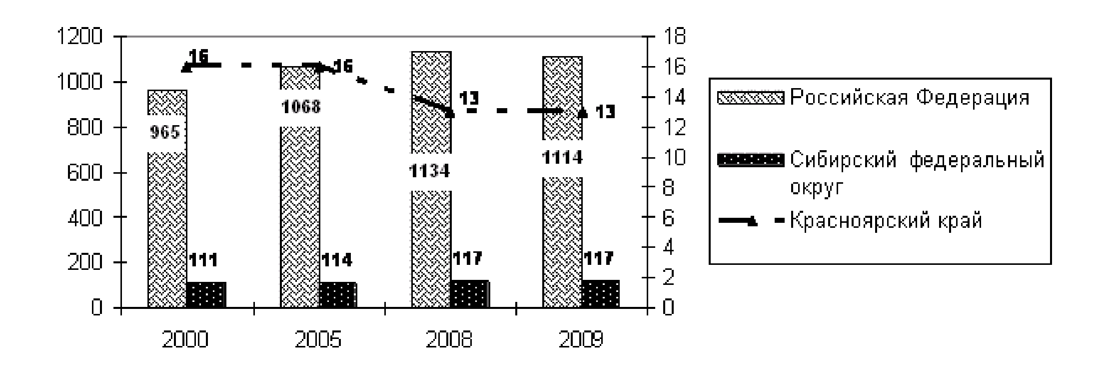


Рис. 3. Число высших учебных заведений

В результате, по числу студентов высших учебных заведений на 10 000 населения Красноярский край уступает как России в целом, так и регионам Сибирского федерального округа. Со временем этот разрыв только увеличивается (рис. 4).

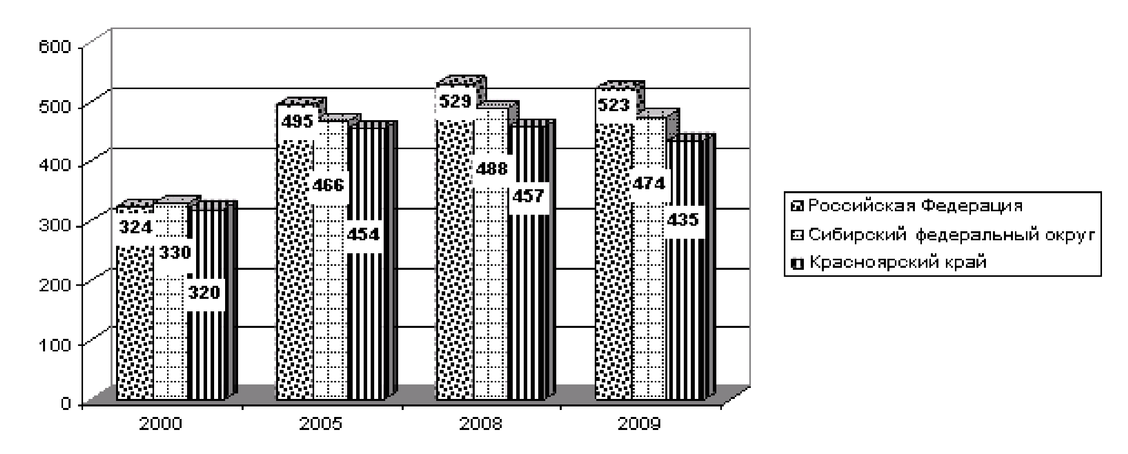


Рис. 4. Число студентов ВПО на 10 000 населения

Анализ кадровых ресурсов Красноярского края показывает, что для инновационного социально ориентированного развития экономики региона необходимо сохранить региональную систему подготовки кадров, учитывающую отраслевую специфику производства: рост подготовки кадров гуманитарного образования считается нецелесообразным, необходимо открыть инженерные специальности для отраслей нефтедобычи, машиностроения, транспорта.

Инновационные ресурсы представляют собой качественную и количественную оценку результативности научно-исследовательской деятельности, она характеризует инновационную активность предприятий.

Инновационная активность предприятий в Красноярском крае за период 2000–2009 гг. выросла почти в три раза и опережает как среднероссийский уровень, так и уровень, достигнутый в Сибирском федеральном округе (табл. 6).

Таблица 6

Инновационная активность предприятий, %

Регион	2000	2005	2008	2009
Российская Федерация	8,8	9,7	9,4	9,3
Сибирский федеральный округ	6,1	7,7	7,7	7,3
Красноярский край	3,7	6,7	14,0	12,2

Другим показателем результативности научно-исследовательской деятельности является число выданных патентов. Вклад Красноярского края в развитие интеллектуальной собственности Российской Федерации невелик. Доля края по выданным патентам на изобретения и полезные модели в 2009 г. составила: 16% – в Сибирском федеральном округе и 1% – в Российской Федерации.

Инновационная активность предприятий сказывается на использовании передовых производственных технологий, их число за 2000–2009 гг. выросло более чем в 4 раза. Основной сферой применения передовых производственных технологий в Красноярском крае является производство, обработка и сборка. Второй по значимости сферой применения передовых производственных технологий является связь и управление, третьей – проектирование и реинжиниринг.

Доля остальных сфер деятельности, применяющих передовые производственные технологии, невелика.

Анализ инновационной активности по сферам экономической деятельности и отраслям показывает, что наиболее активно инновации осуществляются в обрабатывающем производстве, наименее активно – добывающем (табл. 7).

Таблица 7

Удельный вес организаций, осуществляющих технологические инновации, % к общему числу организаций по видам экономической деятельности и отраслям

Показатели	2007	2008	2009
Организации, осуществляющие технологические инновации,	11,5	12,8	12,5
в том числе: - добыча полезных ископаемых;	7,7	9,7	3,6
- обрабатывающие производства;	13,5	17,1	15,4
- металлургическое производство и производство готовых металлических изделий;	25,0	28,6	33,3
- производство машин и оборудования;	18,8	20,0	11,1
- производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования;	29,4	33,3	20,0
- производство транспортных средств;	33,3	11,1	10,1
- производство и распределение электроэнергии, газа и воды	8,1	6,6	8,1

Если рассмотреть использование технологических инноваций в отраслевом разрезе, то наиболее активно инновации распространяются на предприятиях металлургического производства и производствах готовых металлических изделий. Неблагоприятная тенденция наблюдается в машиностроительном комплексе, где заметно сокращается доля предприятий, осуществляющих технологические инновации. Это не может не сказаться на качестве производимой продукции и ее конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынке.

Как следует из анализа инновационных ресурсов Красноярского края, регион располагает определенными возможностями для инновационного развития. Однако в настоящее время эти возможности используются не полностью. Развитие рентабельных отраслей добычи полезных ископаемых, но практически не использующих инновации, ставит под угрозу ориентацию на смену модели экономического роста и переход на инновационное социально ориентированное развитие. Производства, ориентированные на использование инноваций, не получают должного развития и приходят в упадок.

Для оценки ресурсных составляющих потенциала Красноярского края используем предложенную методику (табл. 8).

Таблица 8

Качественная оценка ресурсного потенциала обеспечения инновационного социально ориентированного развития Красноярского края

Ресурсная составляющая потенциала	Низкий	Средний	Высокий
Производственно-технические ресурсы		+	
Инвестиционные ресурсы			+
Кадровые ресурсы	+		
Ресурсы инновационного развития	+		

Общая оценка ресурсного потенциала Красноярского края $D \approx 1$. Это характеризует ресурсный потенциал края как средний.

Исходя из общей оценки ресурсного потенциала Красноярского края, определим его место среди других регионов Сибирского федерального округа по ресурсному обеспечению перехода на инновационный социально ориентированный путь развития (рис. 5).

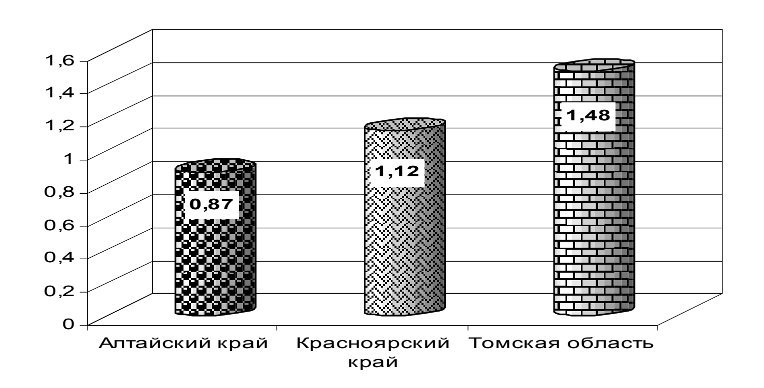


Рис. 5. Количественная оценка ресурсного потенциала регионов Сибирского федерального округа

Сравнение количественных оценок ресурсного потенциала показывает, что некоторые регионы Сибирского федерального округа имеют значительно больший, чем Красноярский край, ресурсный потенциал, другие – меньший. К числу регионов с большим ресурсным потенциалом относятся, например, Томская и Новосибирская области. Более низким потенциалом располагают республики Тыва, Бурятия, Алтайский и Забайкальский края. Несмотря на определенную условность данного показателя, ресурсный потенциал Томской и Новосибирской областей можно оценить как высокий, ресурсный потенциал республик Тыва, Бурятия, Алтайского и Забайкальского краев – как низкий. Кемеровская и Омская области, как и Красноярский край, имеют средний ресурсный потенциал.

Общая количественная оценка ресурсного потенциала Красноярского края показывает, что регион обладает «средними» возможностями для реализации перехода экономики на инновационное социально ориентированное развитие. Это означает, что, несмотря на определенные возможности, которыми располагает край, необходимы усилия для развития ресурсного потенциала обеспечения поставленной цели.

Заключение. Оценка ресурсных возможностей региона необходима для реализации поставленной цели: перехода экономики региона на инновационное социально ориентированное развитие.

Несмотря на условный характер показателей оценки ресурсных составляющих и общего потенциала, они отвечают сложившимся тенденциям. Использование общей количественной оценки потенциала позволяет, во-первых, выявить «узкие места» в развитии ресурсных составляющих, а во-вторых, оценить место данного региона среди других регионов в реализации аналогичных целей. Это, в свою очередь, дает возможность разработать систему мер по ликвидации отставания региона и обеспечению, тем самым, достижения поставленной цели.

Библиографический список

1. Шалмуев А.А. Основные составляющие потенциала регионального развития / А.А. Шалмуев // Экономическое возрождение России. – 2006. – № 4.

2. Конкурин Д.И. Инновационная деятельность / Д.И. Конкурин. – М.: Экзамен, 2001. – 575 с.

3. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г.: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. №1662-р.

4. Базовый доклад к обзору ОЭСР национальной инновационной системы Российской Федерации / М-во образования и науки РФ. – М., 2009.

Материал поступил в редакцию 06.06.11.

References

1. Shalmuev A.A. Osnovny`e sostavlyayushhie potenciala regional`nogo razvitiya / A.A. Shalmuev // E`konomicheskoe vozrozhdenie Rossii. – 2006. – # 4. – In Russian.

2. Konkurin D.I. Innovacionnaya deyatel`nost` / D.I. Konkurin. – M.: E`kzamen, 2001. – 575 s. – In Russian.

3. Koncepciya dolgosrochnogo social`no-e`konomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii do 2020 g.: utv. rasporyazheniem Pravitel`stva Rossijskoj Federacii ot 17 noyabrya 2008 g. #1662-r. – In Russian.

4. Bazovy`j doklad k obzoru OE`SR nacional`noj innovacionnoj sistemy` Rossijskoj Federacii / M-vo obrazovaniya i nauki RF. – M., 2009. – In Russian.

RESOURCE POTENTIAL ASSESSMENT OF REGIONAL ECONOMY TRANSITION TO INNOVATIVE SOCIALLY ORIENTATED DEVELOPMENT

G.I. POPODKO

(Institute of Economics and Industrial Engineering, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch)

The problem of the resource provision for the innovative socially orientated development of the region is considered. The resource potential and its components are defined. The system of indicators characterizing each kind of resource is suggested for the resource potential assessment. The method of scoring the resource components, and the resource potential that permits to define the level of its development is suggested.

Keywords: *resources, potential, innovative socially oriented development, region.*

УДК 334.012.32

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В Г. РОСТОВЕ-НА-ДОНУ

Ю.В. СИТНИКОВ
(Южный федеральный университет)

Рассматривается проблема создания в России национальной инновационной системы, которая является приоритетной как для научно-технической сферы, так и для повышения конкурентоспособности отечественной экономики. Важнейшая ее составляющая – коммерциализация технологий как часть целостного механизма создания и реализации нововведений в рамках национальной инновационной системы и г. Ростова-на-Дону, в частности.
Ключевые слова: *инновационное предпринимательство, региональная инновационная система, инновационная политика.*

Введение. В настоящее время приоритетным направлением деятельности государства является активное участие в создании национальной инновационной системы: реализации федеральных национальных проектов и целевых программ, создании новых финансовых механизмов, включая грантовое финансирование, создании венчурных фондов ранних стадий развития с государственным участием для инвестирования во вновь создаваемые малые и средние наукоемкие компании, поддержка создания и развития инфраструктуры инновационной деятельности, в частности, центров трансфера технологий и коллективного пользования научным оборудованием.

Перевод муниципальной экономики на инновационный путь развития. Анализ мировых тенденций развития науки и технологий показывает, что перевод муниципальной экономики на инновационный путь развития возможен лишь при условии комплексного реформирования научно-технической сферы от прикладных исследований до серийного производства наукоемкой продукции и вывода ее на межрегиональные и мировой рынки.

Этот процесс состоит из трех основных элементов:

– поддержка и развитие прикладных исследований, определяющих лидирующие позиции научно-технической сферы г. Ростова-на-Дону в России и мире;

– создание муниципальной инновационной системы, интегрированной в региональную и национальную системы;

– модернизация промышленности на основе внедрения инноваций и реализации инновационных проектов.

Организация работы по скоординированному развитию этих элементов является необходимым и важнейшим направлением стратегического планирования социально-экономического развития г. Ростова-на-Дону.

Одной из главных целей стратегического плана является создание организационных, законодательных, экономических и иных необходимых условий перевода экономики города на инновационный путь развития в интересах устойчивого повышения качества жизни населения на основе роста эффективности использования имеющихся ресурсов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

– создание инновационной инфраструктуры, обеспечивающей эффективную коммерциализацию научно-технических разработок;

– совершенствование нормативной базы, благоприятной для развития инновационной деятельности на территории города;

– выбор приоритетных технологий и инновационных проектов, оказывающих решающее влияние на повышение эффективности производства и конкурентоспособности продукции;

– создание условий для активного привлечения инвестиционных ресурсов Ростовской области, других регионов России и иностранного капитала в инновационную сферу;

– рациональное размещение, эффективное использование и развитие научно-технического потенциала города;

– повышение объемов производства и реализации научно-технической продукции с большой долей добавленной стоимости и высокой степенью переработки;

– обеспечение взаимосвязи исследований и разработок, инновационных проектов и программ на федеральном, областном, муниципальном уровнях;

– увеличение вклада научно-технического потенциала города в создание новых рабочих мест, улучшение экологической обстановки и здоровья населения;

– поддержка ведущих ученых, научных коллективов и научно-педагогических школ, способных обеспечить опережающий уровень образования и научных исследований;

– развитие малого инновационного предпринимательства;

– создание условий для подготовки и переподготовки кадров в области инновационного менеджмента;

– развитие международных и межрегиональных связей в инновационной сфере, интеграция в российскую и мировую экономику и науку;

– развертывание в средствах массовой информации пропаганды значимости и перспективности инновационной деятельности для прогресса общества.

Основная функция муниципальной инновационной системы – обеспечение устойчивого экономического развития города и повышение качества жизни населения, для этого необходимо:

– создание дополнительных рабочих мест в сфере науки, производства и услуг;

– увеличение поступлений в бюджеты разных уровней за счет наращивания объемов производства наукоемкой конкурентоспособной продукции;

– повышение образовательного уровня;

– решение экологических и социальных проблем посредством использования новейших технологий.

Важным условием разработки стратегии инновационного развития города является объективный анализ научно-технического потенциала муниципального образования. Для обеспечения объективности оценки научно-технического потенциала города и дальнейшего его эффективного использования должна быть создана постоянно действующая муниципальная система мониторинга инновационной сферы.

Научно-технологический комплекс (НТК) г. Ростова-на-Дону на основе предварительного анализа может быть представлен в следующем виде.

Научно-технический блок состоит из 64 организаций всех форм собственности, выполняющих исследования и разработки, в том числе 31 научно-исследовательской организации, 9 конструкторских организаций, 8 высших учебных заведений, 11 научно-технических подразделений на промышленных предприятиях и 5 прочих организаций.

Производственно-технологический блок объединяет предприятия высокотехнологичных отраслей экономики, составляющие 5,5 % от общего числа предприятий области.

Образовательный блок включает 54 государственных и негосударственных высших и средних профессиональных учреждения, 189 образовательных учреждений подготовки и переподготовки кадров.

Инфраструктурный блок представлен структурными подразделениями вузов и исследовательских институтов, ведомственных и межотраслевых информационных центров, консалтинговых фирм.

При определении направленности перспективной научно-технической и инновационной политики города необходимо ориентироваться на стратегию научно-технологического прорыва, которая основана на активной поддержке муниципалитетом узкого круга НИОКР, обеспечиваю-

щих распространение новых технологий в тех секторах, где у г. Ростова-на-Дону имеется достаточный прикладной, изобретательский и конверсионный задел для общероссийского лидерства.

Ключевым вопросом в реализации любой инвестиционной деятельности является привлечение ресурсов, в том числе финансовых, технологических, человеческих, его решение усложняется, так как любые инновации являются трудозатратными и обладают высокими рисками и сложностью оценки экономических результатов.

Отсутствие финансирования в полном объеме увеличивает время реализации конкурентоспособных проектов, снижая качество инноваций. Решение данной проблемы для госпредприятий полностью зависит от запланированного бюджета, а финансирование инновационных проектов частных предприятий в основном – от возможности получить заемные средства. Мировая практика показывает, что инновационный процесс и внутреннее производство инновационных технологий оказываются более эффективными при максимальном вовлечении бизнеса. А для этого одной из основных задач государства становится обеспечение равных возможностей для вхождения на рынок инновационных технологий как крупным предприятиям, так и небольшим частным компаниям.

В России были введены налоговые новшества, которые в теории должны были способствовать развитию инновационных исследований и разработок в частном секторе. Но в связи с отсутствием комплексности и согласованности российской налоговой системы предпринятые меры в настоящий момент малоэффективны. Ситуация осложняется тем, что были отменены налоговые льготы по уплате имущественного и земельного налогов для государственных научных организаций, а это, напротив, способствует ослаблению материально-технической базы данных организаций.

Во время финансового кризиса были заморожены практически все инновационные программы, связанные с экологией, модернизацией и реконструкцией машиностроительных и металлургических производств. Отошли на второй план проекты очистных сооружений и переработки шлаков с применением инновационных технологий.

Также следует отметить, что в России отсутствуют эффективные механизмы оценки и проработки коммерческой составляющей инноваций. В условиях рыночной экономики кроме наличия возможности создать качественно новый продукт необходимо иметь возможность дать ему «коммерческую» оценку, так как именно она помогает участникам инновационного процесса ответить на главный вопрос: будет ли та или иная инновация прибыльной, и на что она будет направлена: в массовое производство или на реализацию некоммерческих задач.

Предварительная экспертная оценка потребности основных отраслей экономики города в инновациях позволила определить примерный перечень приоритетных направлений и базовых технологий на период до 2012 г. исходя из стратегического курса на научно-технологический прорыв.

1. Развитие биомедицины и биотехнологий на основе генной инженерии и сверхкритических технологий.
2. Новейшие информационные технологии и системы.
3. Энергосберегающие технологии и нетрадиционные ресурсы.
4. Принципиально новые материалы, обеспечивающие сокращение потребности в традиционных материалах из природного сырья, использование материалов с заранее заданными свойствами, требующих минимальной обработки.
5. Системы машин и производственных технологий новых поколений.
6. Авиакосмические технологии, новые поколения средств транспорта и связи.
7. Оборонно-технические системы и системы безопасности новых поколений.
8. Рекреационные услуги, индустрия туризма и спорта.

Инновационная политика города должна быть ориентирована:

– в электроэнергетике на развитие экономически эффективной малой и нетрадиционной энергетики, получение экологически чистого высококачественного энергоносителя из низкосорт-

ного топлива, разработку экономически эффективных энергоустановок, использующих возобновляемые источники энергии;

– транспортном комплексе на обновление и дальнейшее развитие парка транспортных средств, модернизацию инфраструктуры, применение прогрессивных технологий погрузки-разгрузки, повышение технического уровня всех видов транспорта, создание логистического центра мегаполиса;

– инфокоммуникационном комплексе на развитие телекоммуникационных технологий по созданию единого информационного пространства для обеспечения эффективной деятельности органов власти, бизнеса, бюджетной сферы и оказания социально значимых услуг населению области;

– машиностроительном комплексе на технологическое перевооружение общемашиностроительных производств за счет автоматизации процессов проектирования и изготовления продукции, применения современных методов высокоточной обработки конструкционных материалов и повышения качества поверхностей деталей и металлоконструкций, механизации и автоматизации сборочных процессов, развития современных методов контроля и диагностики деталей и узлов в процессе изготовления и эксплуатации;

– строительстве и ЖКХ на разработку и внедрение новых строительных технологий и материалов с заданными свойствами. Одним из ключевых приоритетов должно стать повышение качества жилищно-коммунальных услуг за счет бесперебойного обеспечения населения качественной питьевой водой, строительства высокотехнологичных очистных сооружений, энерго- и теплосбережения, эффективного решения проблем утилизации отходов, создания центров использования и переработки вторичных ресурсов;

– производстве потребительских товаров на создание и развитие технологий по выпуску импортозамещающих компонентов и материалов, что позволит осуществить восстановление полного цикла производства конкурентоспособных отечественных видов сложной бытовой техники, обеспечивающего повышение качества и безопасности товаров, а также создание их потребительского разнообразия;

– микробиологической (биотехнологической) промышленности на создание технологических процессов, обеспечивающих повышение глубины переработки сельскохозяйственных продуктов животного и растительного происхождения, создание на основе новейших биохимических технологий конкурентоспособных ингредиентов для фармакологической, пищевой и перерабатывающей промышленности.

В последние годы в России преобладали тенденции технологической деградации экономики и утраты конкурентоспособности продукции обрабатывающей промышленности, вытеснения отечественных производителей с внутреннего и внешнего наукоемких рынков. Вложения в науку уменьшились в 8–10 раз, количество заявок на патенты от резидентов в 2000 г. составило всего 2% от мировых, тогда как в США и Японии этот показатель составил 19,4% и 44% соответственно.

Одним из индикаторов инновационной деятельности предприятий служит показатель «отгружено инновационных товаров, работ, услуг» (табл. 1).

Таблица 1

Объем отгруженных товаров собственного производства в обрабатывающих производствах

Наименование товаров	Объем, млрд руб.
Производство пищевых продуктов, включая напитки, и табака	48,6
Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий, машин и оборудования, электрооборудования, электронного и оптического оборудования, транспортных средств и оборудования	39,0
Текстильное и швейное производство	5,2

Объем отгруженных товаров собственного производства в обрабатывающих производствах (2008 г.) составил 110 млрд руб.

Как показывают данные статистики, максимальной результативностью инноваций отличаются малые предприятия, деятельность которых связана с использованием вычислительной техники и информационных технологий, доля инновационных услуг которых составила 61,8% от общего объема отгруженных товаров, работ, услуг инновационно-активных предприятий. В целом по сектору обрабатывающих производств удельный вес отгруженной инновационной продукции занимает 22,8%, при этом в химическом производстве доля отгруженной новой продукции – 34,6%, производстве электрооборудования, электронного и оптического оборудования – 28,3%, производстве резиновых и пластмассовых изделий – 12,7%.

Анализ структуры видов инновационной деятельности (табл. 2) показывает, что более половины инновационно-активных малых предприятий приобретали в 2007 г. машины и оборудование для внедрения инноваций. Высока доля предприятий, занимающихся исследованием и разработкой новых продуктов. В то же время отмечается относительно низкий удельный вес организаций, осуществляющих инновации в области производственного проектирования, а также обучения и подготовки персонала.

Таблица 2

Структура видов инновационной деятельности

Виды инновационной деятельности	Инновационно-активные предприятия, шт.	Доля от общего количества инновационно-активных предприятий, %
Приобретение машин и оборудования для внедрения инноваций	38	54
Исследование и разработка новых продуктов	25	36
Приобретение программных средств	17	24
Инновации в области инновационного проектирования	14	20
Обучение и подготовка персонала	10	14
Маркетинговые исследования	7	10

Успешная реализация инновационных проектов во многом зависит от дальнейшего продвижения новых продуктов на рынке, что требует грамотно выстроенной маркетинговой стратегии, однако маркетинговыми исследованиями занимаются лишь 7 малых предприятий или 10%. Описанные выше тенденции недооценки предпринимателями роли подготовки персонала и маркетинговых исследований носят общероссийский характер и за последнее время не претерпели существенных изменений.

Ресурсное обеспечение инновационного развития характеризуется объемами затрат на инновации, представляющими собой фактические расходы на различные виды и типы инноваций, выраженные в денежной форме. Абсолютный объем затрат малых предприятий на технологические инновации в 2007 г. составил 231,4 млн руб.

В расчете на одно инновационно-активное малое предприятие наибольшие объемы инновационных затрат имеют предприятия, производящие резиновые и пластмассовые изделия, а также химического производства – 9,4 млн руб. и 9,3 млн руб. соответственно. Параметры этого показателя в других видах деятельности обрабатывающих производств значительно ниже, так, на одно предприятие, производящее машины и оборудование, приходится 3,6 млн руб., электрооборудования, электронного и оптического оборудования – 2,5 млн руб., пищевых изделий, включая напитки, и табака – 1,4 млн руб. В организациях сферы услуг ситуация такова: на одно предприятие связи приходится 0,6 млн руб.; на одно предприятие по виду деятельности, связанной с использованием вычислительной техники и информационных технологий, – 2 млн руб.

Эффективность инновационной деятельности можно оценить, сопоставив объем отгруженной продукции и затраты на инновации. В целом по промышленным видам деятельности эффективность инновационной деятельности в 2007 г. малых предприятий несколько ниже, чем крупных и средних предприятий, и составляет 2,3 руб. инновационной продукции на один руб. затрат на инновации (крупных и средних – 2,4 руб.). Наблюдаются существенные различия по данному показателю: так, в производстве резиновых и пластмассовых изделий, производстве прочих неметаллических минеральных продуктов, транспортных средств и оборудовании на один рубль затрат на инновации приходилось менее одного рубля инновационной продукции. Максимальная отдача инновационных затрат в металлургическом производстве и готовых металлических изделий, химическом производстве, производстве электрооборудования, электронного и оптического оборудования – 47,9; 5,4; 4,6 руб. инновационной продукции на один рубль инновационных затрат соответственно.

Уровень обновления основных фондов на предприятиях г. Ростова-на-Дону снизился до 3% в 2010 г., а физический износ машин и оборудования в промышленности достиг 66%. Очевидно, что при таком состоянии производственного и научно-технического потенциала экономика города без коренного изменения в стратегии развития не может рассчитывать на серьезную конкуренцию с мощными российскими и иностранными корпорациями.

Наряду с негативными тенденциями и явлениями в научно-техническом комплексе города есть и положительные моменты: достижения прикладной науки, сохранившийся высокий научно-технологический потенциал по отдельным видам деятельности (авиация, вооружение, космическая навигация, некоторые виды химических и биохимических технологий и пр.).

В качестве основных индикаторов изменения социально-экономического положения муниципального образования в результате реализации мероприятий стратегического плана в части развития инновационной деятельности являются следующие показатели:

– доля инновационной продукции в общем объеме производства товаров и услуг на территории города;

– число созданных и сохраненных рабочих мест в целом и в отраслевом разрезе;

– доля работающих в сфере высокотехнологичного производства, относительно всех занятых в сфере производства;

– доля объема новой и усовершенствованной продукции в отраслевом разрезе;

– отношение инновационных затрат в производственном секторе к объему общего оборота;

– количество патентов, используемых в высокотехнологичных отраслях, приходящееся на 100 000 населения города;

– количество малых инновационных предприятий и их доля в объеме производства;

– доля бюджетной обеспеченности города за счет развития инновационной деятельности;

– оценка влияния реализуемых в рамках программы проектов и мероприятий на экологическую обстановку в городе.

Основными критериями оценки инновационных проектов выступают:

– соответствие приоритетным региональным направлениям развития науки и техники, перечню критических технологий Российской Федерации;

– значимость реализации проекта для решения социально-экономических задач города и его направленность на создание новых рабочих мест и увеличение занятости, улучшение качества жизни населения, решение экологических проблем территории;

– инвестиционная привлекательность проекта и обеспеченность софинансированием за счет средств инициатора проекта и внебюджетных источников;

– соответствие научно-технического потенциала исполнителя проекта и имеющейся в его распоряжении кадровой, производственной, опытно-экспериментальной базы уровню и сложности решаемых задач;

– наличие в области промышленного предприятия, готового реализовать проект.

В связи со сложностью и комплексностью задачи перевода экономики города на инновационный путь развития для стратегического руководства ее решением создан Координационный совет по инновационной деятельности г. Ростова-на-Дону.

Выводы. В настоящее время одной из важнейших задач, стоящих перед экономикой страны, является выпуск конкурентоспособной, высокотехнологичной продукции, что возможно при условии активизации инновационных процессов в регионах. Инновационный путь развития экономики предполагает тесное взаимодействие научного и производственного сектора с целью совершенствования и оптимизации деятельности, направленной на разработку и внедрение технологических новинок в производство, реализацию новых маркетинговых методов и новых методов ведения бизнеса.

Библиографический список

1. Инновационный потенциал Ростовской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.donland.ru/default.aspx?pageid=92721.

2. Об инновационной деятельности [Электронный ресурс]: обл. закон: принят Закон. Собр. Рост. обл. 28 ноября 2006 г. № 591-ЗС. – Режим доступа: www.donland.ru/default.aspx?pageid=83772.

Материал поступил в редакцию 05.09.11.

References

1. Innovacionny`j potencial Rostovskoj oblasti [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: www.donland.ru/default.aspx?pageid=92721. – In Russian.

2. Ob innovacionnoj deyatel`nosti [E`lektronny`j resurs]: obl. zakon: prinyat Zakon. Sobr. Rost. obl. 28 noyabrya 2006 g. # 591-ZS. – Rezhim dostupa: www.donland.ru/default.aspx?pageid=83772. – In Russian.

DIRECTIONS FOR DEVELOPMENT OF INNOVATIVE ENTREPRENEURSHIP IN ROSTOV-ON-DON

Y.V. SITNIKOV
(Southern Federal University)

The development of the Russian national innovation system that is priority both for the science-and-technology sphere and for the competitive growth of the national economy is considered. The key component of the system is the commercialization of technologies as a part of the integral mechanism of the innovative development in the national innovation system, and in Rostov-on-Don in particular.

Keywords: *innovative ventures, regional innovative system, innovation policy.*

УДК 377.031.4:004

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВОСПИТАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ БУДУЩЕГО ТЕХНИКА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО КОЛЛЕДЖА

В.Б. ДУДКА
(Таганрогский политехнический колледж (филиал)
Донского государственного технического университета)

Рассмотрена инструментальная модель реализации процесса воспитания информационно-технологической культуры будущего специалиста в условиях культурно-образовательного пространства политехнического колледжа, охарактеризованы блоки этой модели.
Ключевые слова: *инструментальная модель, блоки, процесс воспитания, информационно-технологическая культура.*

Введение. Реализация процесса воспитания информационно-технологической культуры будущего специалиста среднего звена начинается с создания его проекта в виде инструментальной модели. На современном этапе развития науки проектирование стало применяться не только в традиционных областях деятельности конструкторов, архитекторов, строителей, но и учебной деятельности. Метод проектов представляет собой систему обучения, в которой знания, умения, предметные компетенции субъекты обучения приобретают в процессе планирования и выполнения постоянно усложняющихся практических заданий, так называемых проектов. В педагогической практике появился новый термин «проектно-учебная деятельность». Его научной основой является «метод проектов», который активно используется в США, Великобритании. В настоящее время метод проектов набирает популярность и в нашей стране.

Аналитическая верификация инструментальной модели реализации процесса воспитания информационно-технологической культуры будущего специалиста в условиях культурно-образовательного пространства политехнического колледжа. На современном этапе развития общества происходят глобальные перемены во всех сферах деятельности людей, связанные с разработками новых технологий и автоматизацией многих сложных производственных процессов. Одними из самых востребованных интеллектуальных продуктов, создаваемых в данный период человечеством, являются информация и технологии ее обработки. Поэтому в современном обществе на рынке труда резко возросла потребность в квалифицированных специалистах, имеющих не только глубокие профессиональные знания, но и обладающих высоким уровнем информационно-технологической культуры.

Анализ научных исследований в области воспитания информационно-технологической культуры будущего специалиста среднего звена показывает, что проектирование учебной деятельности позволяет на практике реализовать новые подходы в области педагогической практики. Соединение научных знаний, методик, средств педагогики с практическим действием составляет единый процесс проектно-учебной деятельности. Проектно-учебная деятельность предусматривает создание моделей, проектов, планов, при помощи которых удовлетворяются современные требования, предъявляемые к профессиональному политехническому образованию будущих специалистов среднего звена:

– профессионализм, ответственность, мобильность, образованность, компетентность;
– профессиональная культура специалиста (знания, умения, компетенции, эмоционально-ценностное отношение);

– личный опыт;
– взаимодействие субъектов – носителей культуры.

В современных условиях проектно-учебная деятельность направлена на развитие мышления, познавательных интересов студентов. В процессе воспитания информационно-технологической культуры в культурно-образовательном пространстве политехнического колледжа проектно-учебная деятельность является эффективным средством для профессионального самоутверждения выпускников. Процесс проектно-учебной деятельности воспитания информационно-технологической культуры должен быть непрерывным, развивающимся, так как требования к профессиональному и личностному уровню специалиста постоянно повышаются.

В условиях реформирования современного профессионально-технического образования необходимо создать условия для непрерывного обновления и совершенствования структуры воспитания информационно-технологической культуры будущего техника, которая включает в себя формирование универсальных учебных действий, обеспечивающих специалисту среднего звена умение учиться, способность к саморазвитию и самосовершенствованию. Это достигается путем сознательного овладения субъектом обучения социальным опытом. При этом конкретные знания, умения, система предметных компетенций, эмоционально-ценностное отношение и личный опыт, взаимодействие субъектов – носителей культуры рассматриваются как производные от соответствующих видов целенаправленных действий, т. е. они формируются, применяются и сохраняются в тесной связи с активными действиями самих субъектов учебного процесса. Только в этом случае можно рассчитывать на достижение желаемого уровня профессионально-личностного развития будущего специалиста.

Разработка инструментальной модели реализации процесса воспитания информационно-технологической культуры будущего специалиста в условиях культурно-образовательного пространства политехнического колледжа предполагает определение ее структуры и связей между компонентами. Структура представляет собой способ внутренней организации составляющих объекта, одну из сущностных характеристик любой вещи. Познанию сущности объекта способствует построение его модели [1].

С помощью инструментальной модели возможно достижение поставленной цели исследования, т. е. реализация процесса воспитания информационно-технологической культуры будущего специалиста в соответствии с выбранными формами, методами и средствами педагогической деятельности. В то время как структурно-содержательная модель играет роль теоретической основы определения содержания информационно-технологической культуры, объединяющей в логической последовательности совокупность общих закономерностях и взаимодействия отдельных ее составляющих, инструментальная модель описывает процесс профессионально-личностного развития будущего специалиста, средства и методы его реализации.

Инструментальная модель (см. рисунок) – это наглядное отображение структуры процесса воспитания информационно-технологической культуры будущего специалиста в культурно-образовательном пространстве политехнического колледжа.

При анализе инструментальной модели необходимо обратить внимание на два существенных аспекта.

Во-первых, развитие и воспитание студентов с учетом их индивидуальных наклонностей и способностей – основная цель образовательного процесса, требующая создания культурно-образовательного пространства политехнического колледжа.

Во-вторых, культурно-образовательное пространство политехнического колледжа должно быть открытым и иметь выход в культурно-образовательное пространство региона и страны. Такое выделение аспектов инструментальной модели необходимо для того, чтобы выпускник «вписался» в социокультурное пространство общества.



Инструментальная модель процесса воспитания информационно-технологической культуры (ИТК) будущего специалиста в условиях культурно-образовательного пространства (КОП) политехнического колледжа

Первый блок инструментальной модели – основные характеристики субъекта деятельности в культурно-образовательном пространстве политехнического колледжа. Под воспитанием информационно-технологической культуры будущего специалиста понимается процесс формирования ее инвариантного содержания, который рассматривается с позиции деятельности педагога (преподавание) и деятельности студента (обучение). Информационно-технологическая культура является основой профессиональной компетентности и готовности выпускника к жизни в современном обществе.

Второй блок инструментальной модели включает анализ педагогической проблемы реализации процесса воспитания информационно-технологической культуры будущего специалиста в культурно-образовательном пространстве политехнического колледжа, а также определяет подходы к выбору методов и средств воспитания информационно-технологической культуры студентов.

Одним из действенных методов является организация самостоятельной работы студентов с различными видами профессионально-ориентированного учебного материала, в том числе с применением новых информационных технологий и персонального компьютера, что позволяет студентам ставить и решать задачи, которые по своей направленности и практической значимости приближаются к реальной практической деятельности по специальности. В процессе усвоения учебного материала студент самостоятельно изменяет ситуацию, выступая ее активным участни-

ком. Погружение студента в информационно-технологическую среду в качестве активного участника образовательного процесса развивает его творческий потенциал, расширяет и углубляет предметные знания, компетенции и профессиональные навыки.

Третий блок инструментальной модели – описание целей и задач процесса воспитания информационно-технологической культуры будущего специалиста в культурно-образовательном пространстве политехнического колледжа.

Успех любой деятельности, в том числе и учебной, во многом зависит от правильной постановки цели и задач, определяющих мотивацию, направленность, способ и характер действий человека. Важнейшей целью профессионально-личностного развития будущего специалиста является воспитание информационно-технологической культуры будущего специалиста в культурно-образовательном пространстве политехнического колледжа.

В соответствии с поставленной целью подготовки специалиста среднего звена необходимо для каждого учебного занятия согласно нормативно-правовым документам (государственный образовательный стандарт, учебные планы, рабочие программы и др.) наиболее рационально определить весь комплекс задач с учетом преемственности в формировании знаний, умений и навыков (опыта), системы компетенций.

Например, формируя научные знания, связанные с будущей профессиональной деятельностью студента, преподаватель одновременно создает основу для воспитания эмоционально-ценностного отношения к профессии.

Четвертый блок модели описывает закономерное влияние уровня и содержания информационно-технологической культуры субъектов образовательного процесса на характер и степень интеграции культурно-образовательного пространства политехнического колледжа. Этот процесс осуществляется путем: организации различных форм дистанционного обучения с помощью компьютерных сетей; внедрения во все дисциплины учебного плана специальности компьютерных технологий обучения; разработки и адаптации современных способов обработки информации; использования для самостоятельной работы студентов сети Интернет.

Пятый блок инструментальной модели – педагогические условия проектирования образовательного процесса:

– установление межпредметных связей в процессе обучения студентов;

– ориентация процесса обучения студентов политехнического колледжа на установление межпредметных связей и синтез субъективно нового знания в области общеобразовательных, общетехнических, специальных и информационных дисциплин;

– организация учебно-исследовательской работы студентов;

– применение активных методов обучения для формирования информационно-технологических умений будущего специалиста среднего звена в политехническом колледже;

– профессиональная направленность учебных заданий, решаемых студентами с помощью персонального компьютера;

– ориентация на профессионально-нравственное воспитание студентов в ходе информационно-технологической подготовки;

– систематическое использование студентами в процессе обучения персонального компьютера и компьютерных телекоммуникаций, глобальной сети Интернет и др.

Проектирование процесса профессионально-личностного развития будущего специалиста средствами культурно-образовательного пространства политехнического учебного заведения необходимо осуществлять на основе функционального единства образования, воспитания и становления личности студента, объединения ресурсов учебного заведения, городского и регионального уровней.

Проектирование профессионально-личностного развития будущего специалиста среднего звена позволяет преподавателям и администрации лучше понять потребности студента, найти

средства и создать условия оказания действенной помощи в решении его проблем и проявления его способностей.

Формирование культурно-образовательного пространства обеспечивает успешное развитие студентов, становление культурной среды, способствует их самоопределению и самореализации. Можно выделить основные принципы проектирования профессионально-личностного развития будущего специалиста политехнического многоуровневого учебного заведения:

– комплексное планирование;

– подготовка и переподготовка;

– компьютерное обеспечение;

– социальный заказ;

– индивидуальное прохождение учебного курса и др.

Шестой блок инструментальной модели – содержание и структура информационно-технологической культуры будущего специалиста: знания, умения, личный опыт, воспитание эмоционально-ценностного отношения к будущей профессии и взаимодействие субъектов – носителей культуры**.**

Содержание информационно-технологической культуры будущего техника должно формироваться в соответствии со следующими принципами:

– культуросообразность предполагает построение процесса образования на основе модели культуры, являющейся средой, растящей и питающей личность; опору на духовные приоритеты, культурно-исторические и трудовые традиции региона;

– гуманизация образования создает позитивные условия, направленные на то, чтобы культурно-образовательное пространство политехнического учебного заведения стало пространством жизни студента;

– гуманитаризация образования обусловливает признание творчества в качестве основного механизма развития личности, обеспечивающего ее вхождение в пространство культуры и адекватное социуму существование в современном мире;

– целостное развитие личности формирует образовательную среду, охватывающую не только образовательные интересы, непосредственно связанные с процессом обучения, но и интересы, находящиеся за рамками учебной деятельности;

– вариативность способствует личностному и профессиональному становлению специалиста через выбор индивидуальной траектории обучения;

– демократизм предполагает сотворчество, сотрудничество субъектов образовательного пространства, активное взаимодействие участников образовательного процесса без использования открытых и скрытых форм агрессии при сохранении независимости;

– поликультурность – императив развития целостного образовательного пространства и условие, обеспечивающее непрерывный диалог культур, толерантность, терпимость к иным взглядам, представлениям, нравам, привычкам;

– профессиональная компетентность позволяет обеспечить профессиональную подготовку специалиста в процессе обучения, освоения им необходимых знаний, умений и навыков, производственных функций и норм поведения, нравственных ценностей;

– средовая обусловленность предполагает формирование культурно-образовательной среды в рамках культурно-образовательного пространства политехнического учебного заведения, которая охватывает более широкую сферу, выходящую за пределы непосредственно учебной деятельности.

Седьмой блок инструментальной модели описывает функции культурно-образовательного пространства политехнического учебного заведения в процессе становления будущего специалиста: гуманистическую, культурологическую, воспитательную, информационную, адаптационную, ориентировочную.

Восьмой блок инструментальной модели охватывает методы и средства культурно-образовательного пространства в процессе профессионально-личностного развития будущего специалиста среднего звена.

Девятый блок инструментальной модели характеризует механизм синтеза инвариантного содержания информационно-технологической культуры студента средствами культурно-образовательного пространства политехнического колледжа.

Синтез всех составляющих информационно-технологической культуры происходит в сознании студента под воздействием условий культурно-образовательного пространства, внешних по отношению к нему факторов и того личностного опыта, который накоплен ранее. Этот синтез является главным результатом образования. Механизм его еще недостаточно изучен, поэтому можно говорить только об условиях его осуществления. В результате такого синтеза в сознании студента формируются новые образования, являющиеся его индивидуальной характеристикой.

При одинаковых условиях, которые создаются в культурно-образовательном пространстве политехнического колледжа, результаты воспитания информационно-технологической культуры у разных студентов значительно отличаются. По-видимому, внешние условия являются необходимым, но недостаточным фактором воспитания личности. Здесь огромную роль играют «природные» и развиваемые в процессе обучения качества, что и определяет индивидуальность человека.

Десятый блок инструментальной модели включает систему контроля качества образования выпускника политехнического колледжа, т. е. процедуру контроля результатов учебно-воспитательного процесса, который осуществляется непосредственно в процессе авторского преподавания, а также в ходе педагогического эксперимента.

Заключение. Инструментальная модель позволит раскрыть новые аспекты учебно-воспитательной деятельности, связанной с воспитанием информационно-технологической культуры, соотнести реальные профессиональные ситуации, с которыми сталкивается техник-машиностроитель, с содержанием изучаемого материала и условиями преподавания.

Предложенная инструментальная модель в соответствии с новой парадигмой профессионального политехнического образования будет способствовать изменению направленности учебно-воспитательного процесса и позволит построить его с учетом индивидуальных запросов и возможностей студентов. При этом студенты должны стать субъектами учебной деятельности, что предполагает использование возможностей образовательного пространства, без этого невозможно воспитание будущего специалиста, культурного и высоконравственного. Кроме того, инструментальная модель от ситуации, когда образование в России рассматривается как не подлежащее измерению и оценке [2], позволяет перейти:

– к экспериментальной проверке теоретических выводов;

– выбору наиболее эффективного варианта системы условий, средств и методов воспитания информационно-технологической культуры;

– управлению процессом профессионально-личностного развития будущего специалиста среднего звена.

Библиографический список

1. Энциклопедия профессионального образования: в 3 т. Т. 3 / под ред. С. Я. Батышева. – М.: АПО, 1999. – 488 с.

2. Ефремова Н.Ф. Тестовый контроль в образовании: учеб. пособие / Н.Ф. Ефремова. – М.: Логос, 2007. – 368 с.

Материал поступил в редакцию 29.06.11.

References

1. E`nciklopediya professional`nogo obrazovaniya: v 3 t. T. 3 / pod red. S. Ya. Baty`sheva. – M.: APO, 1999. – 488 s. – In Russian.

2. Efremova N.F. Testovy`j kontrol` v obrazovanii: ucheb. posobie / N.F. Efremova. – M.: Logos, 2007. – 368 s. – In Russian.

TOOL EDUCATION MODEL OF INFORMATION TECHNOLOGY CULTURE FOR PROSPECTIVE TECHNICIAN IN EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF POLYTECHNIC COLLEGE

V.B. DUDKA

(Taganrog Polytechnic College, Don State Technical University branch)

The tool education model of information technology culture of the prospective expert amidst the cultural-educational environment of the polytechnic college is considered. Its blocks are described.

Keywords: *tool model, blocks, education process, information technology culture.*

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.048.6:004.942

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Е.М. ТАМАРКИНА
(Донской государственный технический университет)

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, а также компьютерного моделирования процесса вибрационной обработки, определены параметры модели металлосъема, которые сделали возможным количественный прогноз интенсивности процесса обработки в вибрационных станках при различных конструкциях рабочих камер. Разработаны рекомендации их эффективного использования при решении специфических задач отделочной механообработки в вибрационных станках.
Ключевые слова: *компьютерное моделирование, повышение эффективности вибрационной обработки, новые конструкции вибрационных станков.*

Введение. Повышение требований к качеству, надежности машин, внешнему виду, усталостной прочности их элементов обусловливают расширенное применение в машиностроении различных методов отделки и упрочнения, среди которых важное место занимает вибрационная обработка, применяемая практически во всех отраслях производства. Обязательным условием эффективности и качества процесса обработки является обеспечение устойчивого и интенсивного движения рабочей среды в рабочей камере вибрационного станка.

Сложность задачи совершенствования динамических характеристик вибростанков, как и большинства вибрационных технологических машин, состоит в том, что основным элементом вибростанка, является гранулированная рабочая среда, существенно нелинейная и характеризующаяся многообразным поведением, динамика которой наименее изучена. Многолетний опыт исследований и производства, а также обстоятельство, что рабочая камера определяет форму, занимаемую рабочей средой, с неизбежностью приводят к выводу об определяющем влиянии формы, размеров, закона движения камеры на динамическое поведение массы загрузки и интенсивность процесса в целом.

Постановка задачи. Для повышения эффективности вибрационной обработки необходимы такие конструкторско-технологические методы проектирования конструкций виброкамер и синтеза законов их движения, которые обеспечивают управляемое повышение интенсивности процесса отделочно-упрочняющей обработки в вибрационных станках.

Решение задачи. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований предложена система классификации геометрических форм и компоновок виброкамер, основанная на конфигурации линий тока рабочей среды, связности объема камеры (наличие вставок) и наличии элементов, стесняющих свободную поверхность среды. Анализ законов взаимодействия сферических частиц с плоской поверхностью выявил набор критериев, по которым возможно экспериментальное заключение о характере мгновенного контактного трения частицы.

Разработана методика проведения и обработки данных эксперимента для определения характеристик ударного взаимодействия частиц среды с облицовками рабочих камер. Установлена и экспериментально доказана связь интенсивности абразивного металлосъема при отделочной обработке со скоростью потока рабочей среды, набегающего на поверхность, и механическими напряжениями в потоке. Определены параметры модели единичного взаимодействия гранул и облицовок рабочих камер в сухих и увлаженных средах.

Полученные результаты сделали возможным применение методов прямого компьютерного моделирования динамики среды в виброкамерах. Проведен анализ и испытания системы компьютерного моделирования программы моделирования динамики быстрых движений гранулированных сред применительно к задаче проектирования виброкамер сложной формы с законом случайного распределения движения. Эта система, разработанная специально для моделирования динамики ограниченных объемов гранулированных тел в областях, ограниченных свободными, неподвижными и движущимися поверхностями, позволяет, задавая форму поверхности вибрационной камеры, закон ее движения и параметры взаимодействия с частицами среды (коэффициент трения и нормального восстановления), получить траекторию и скорость движения каждой частицы изучаемого объема среды. Установлены закономерности влияния формы вибрационной камеры на характеристики кинематики и динамики гранулированной среды.

Заключение. На основании результатов компьютерного моделирования разработана инженерная методика применения программного инструментального средства при проектировании геометрии и схемы возбуждения виброкамер. Предложены рекомендации по эффективному использованию некоторых типов рабочих камер с дополнительными элементами при решении специфических задач отделочной механообработки в вибрационных станках. С помощью методов компьютерного моделирования синтезирован ряд новых форм и компоновок составных рабочих камер, позволяющих увеличить интенсивность и производительность процессов обработки в вибрационных станках примерно в три раза.

Материал поступил в редакцию 01.09.11.

EFFICIENCY UPGRADING OF VIBRATION TREATMENT THROUGH COMPUTER MODELLING

E.M. TAMARKINA
(Don State Technical University)

The results of the theoretical and field research and of the computer simulation of the vibration treatment are described. The metal removal parameters are defined. They make the quantitative prognosis of the treatment intensity in the vibro-finishing machines with different designs of work chambers possible. Some recommendations on their effective use in the performance of the specific tasks on the finishing machining are elaborated.
Keywords: *computer simulation, efficiency upgrading of vibration treatment, innovative vibro-finishing machines.*

АНАНОВА Оксана Геннадьевна, соискатель кафедры «Маркетинг и управление в сфере обслуживания» Донского государственного технического университета.
skrymov@yandex.ru

БАЙКОВСКАЯ Анастасия Валерьевна, руководитель департамента оценки ООО «АПРИОРИ».
baikovskaia@rambler.ru

БАРАННИКОВА Ольга Олеговна, аспирантка кафедры «Производственная безопасность» Донского государственного технического университета.
barannikovaoo@rambler.ru

БОРИСОВА Людмила Викторовна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика и менеджмент в машиностроении» Донского государственного технического университета.
borisovalv09@mail.ru

ВОЛОДИН Роман Сергеевич, аспирант кафедры «Теория и технологии в менеджменте» Южного федерального университета.
rosvol@rambler.ru

ГИРШ Дмитрий Сергеевич, инженер кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета.
dgir@inbox.ru

ГРОШЕВА Татьяна Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономическая теория» Югорского государственного университета.
tgrosheva@mail.ru

ДИМИТРОВ Валерий Петрович, доктор технических наук, профессор, декан факультета «Приборостроение и техническое регулирование», заведующий кафедрой «Управление качеством» Донского государственного технического университета.
kaf-qm@donstu.ru

ДОМБРОВСКИЙ Юрий Маркович, доктор технических наук, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета.
yurimd@mail.ru

ДУДКА Виталий Борисович, начальник вычислительного центра Таганрогского политехнического колледжа (филиала) Донского государственного технического университета.
vittag@mail.ru

ЕРМОЛЬЕВ Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины и оборудование» Донского государственного технического университета.
muratovdk@yandex.ru

ЗАКОВОРОТНЫЙ Вилор Лаврентьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.
vzakovozotny@donstu.ru

ЗОТОВ Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальное производство» Донского государственного технического университета.

КОЗАЧЕНКО Пётр Николаевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Химия» Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса.

КОРОЛЬКОВ Юрий Вячеславович, руководитель сектора научно-исследовательской работы студентов и работы с молодыми учеными Донского государственного технического университета.
kingkov@mail.ru

КУЗНЕЦОВ Дмитрий Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Производственная безопасность» Донского государственного технического университета.
kuznetsovdm@mail.ru

ЛАДОША Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Массовые коммуникации и мультимедийные технологии» Донского государственного технического университета.
ladoscha@mail.ru

ЛИСИН Сергей Петрович, инженер-конструктор ОАО «Роствертол».
s.lisin55@mail.ru

МОИСЕЕВ Денис Витальевич, студент факультета «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета.

МУРАТОВ Денис Константинович, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и оборудование» Донского государственного технического университета.
muratovdk@yandex.ru

НГУЕН Суан Тьем, аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.
cyclone_rus0309@yahoo.com

НЕЙДОРФ Рудольф Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета.
neyruan@yandex.ru

ПОПОДЬКО Галина Ивановна, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Красноярского отдела Института экономики организации производства Сибирского отделения Российской академии наук.
pgi90@bk.ru

ПУСТОВЕТОВ Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автоматизация и электропривод станочных систем» Донского государственного технического университета.
mgsn2006@rambler.ru

РЫЖКИН Анатолий Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инструментальное производство» Донского государственного технического университета.
aryzhkin@donstu.ru

СЕМЕНЮК Наталья Петровна, начальник управления Министерства сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области.
semenuk@don-agro.ru

СИНЯВСКИЙ Игорь Владимирович, заместитель начальника комплексного отдела статических преобразователей Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения (ОАО «ВЭлНИИ», г. Новочеркасск).
igor.siniavskiy@yandex.ru

СИТНИКОВ Юрий Владимирович, аспирант кафедры «Теория и технологии в менеджменте» Южного федерального университета.
sitnikov.rostov@uniastrum.com

СТЕПАНОВ Макар Степанович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология технического регулирования» Донского государственного технического университета.

СТУКОПИН Владимир Алексеевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.
stukopin@mail.ru

ТАМАРКИНА Евгения Михайловна, системный администратор Южно-Российского регионального центра по контролю и анализу за расходованием энергоресурсов объектами Донского государственного технического университета.
tematt82@mail.ru

ТРЕПАЧЁВ Виктор Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.
trepachev.victor@yandex.ru

ТУГЕНГОЛЬД Андрей Кириллович, доктор технических наук, профессор кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета.
akt0@yandex.ru

ФАМ Динь Тунг, кандидат технических наук, докторант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.
phamdinhtung@mail.ru

ХОЛОДОВА Светлана Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета.
svkholodova@gmail.com

ЦЫМБАЛОВ Денис Сергеевич, ассистент кафедры «Электротехника и электроника» Донского государственного технического университета.
den_constructor@mail.ru

ШАРОВАТОВА Елена Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Бухгалтерский учет» Ростовского государственного экономического университета.
esharovatova@mail.ru

ANANOVA, Oksana G., Ed.D. Candidate of the Marketing and Management in Service Sector Department, Don State Technical University.
skrymov@yandex.ru

BAIKOVSKAYA, Anastasia V., head of the Evaluation Department, LLC «Apriory».
baikovskaia@rambler.ru

BARANNIKOVA, Olga O., postgraduate student of the Industrial Safety Department, Don State Technical University.
barannikovaoo@rambler.ru

BORISOVA, Lyudmila V., PhD in Science, professor, head of the Engineering Economics and Management Department, Don State Technical University.
borisovalv09@mail.ru

DIMITROV, Valery P., PhD in Science, professor, dean of the Tools and Instrument Engineering Faculty, head of the Quality Management Department, Don State Technical University**.**
kaf-qm@donstu.ru

DOMBROVSKIY, Yury M., PhD in Science, professor of the Material Physics and Applied Hylology Department, Don State Technical University.
yurimd@mail.ru

DUDKA, Vitaly B., head of the computer centre, Taganrog Polytechnic College, Don State Technical University branch.
vittag@mail.ru

ERMOLYEV, Yuri I., PhD in Science, professor, head of the Agricultural Machinery and Equipment Support Department, Don State Technical University.
muratovdk@yandex.ru

GIRSH, Dmitry S., engineer of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University.
dgir@inbox.ru

GROSHEVA, Tatiana A., Candidate of Science in Economics, associate professor of the Economic Theory Department, Yugra State University.
tgrosheva@mail.ru

KHOLODOVA, Svetlana N., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University.
svkholodova@gmail.com

KOROLKOV, Yury V., head of the Sector of Students' Research and Work with Young Scientists, Don State Technical University.
kingkov@mail.ru

KOZACHENKO, Petr N., Candidate of Science in Engineering, head of the Chemistry Department, South-Russian State University of Economics and Service.

KUZNETSOV, Dmitry M., PhD in Science, professor of the Industrial Safety Department, Don State Technical University.
kuznetsovdm@mail.ru

LADOSHA, Evgeny N., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Mass Communications and Multimedia Technologies Department, Don State Technical University.
ladoscha@mail.ru

LISIN, Sergey P., design engineer, JSC «Rostvertol».
s.lisin55@mail.ru

MOISEYEV, Denis V., student of the Engineering Technology Faculty, Don State Technical University.

MURATOV, Denis K., postgraduate student of the Agricultural Machinery and Equipment Support Department, Don State Technical University.
muratovdk@yandex.ru

NEYDORF, Rudolf A., PhD in Science, professor, head of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University.
neyruan@yandex.ru

NGUYEN Xuan Chiem, postgraduate student of the Production Automation Department, Don State Technical University.
cyclone_rus0309@yahoo.com

PHAM Dinh Tung, Candidate of Science in Engineering, postdoctoral student of the Production Automation Department, Don State Technical University.
phamdinhtung@mail.ru

POPODKO, Galina I., Candidate of Science in Economics, senior research scholar, Krasnoyarsk department, Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.
pgi90@bk.ru

PUSTOVETOV, Mikhail Y., Candidate of Science in Engineering, associate professor, head of the Automation and Machine Tool Electric Drive Department, Don State Technical University.
mgsn2006@rambler.ru

RYZHKIN, Anatoly A., PhD in Science, professor, head of the Tools Production Department, Don State Technical University.
aryzhkin@donstu.ru

SEMENYUK, Natalia P., head of the department, Ministry of Agriculture and Food of the Rostov region.
semenuk@don-agro.ru

SHAROVATOVA, Elena A., Candidate of Science in Economics, associate professor of the Accounting Department, Rostov State University of Economics.
esharovatova@mail.ru

SINYAVSKIY, Igor V., assistant head of the Static Converters Complex Department, All-Russian Scientific Research and Design-and-Engineering Institute for Electric Locomotive Building (JSC «VElNII», Novocherkassk).
igor.siniavskiy@yandex.ru

SITNIKOV, Yury V., postgraduate student of the Theory and Technologies in Management Department, Southern Federal University.
sitnikov.rostov@uniastrum.com

STEPANOV, Makar S., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Technical Regulation Technology Department, Don State Technical University.

STUKOPIN, Vladimir A., Candidate of Science in Physics and Maths, associate professor of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University.
stukopin@mail.ru

TAMARKINA, Evgenia M., system administrator of the South-Russian Regional Centre for Control and Analysis of the Energy Expenditures by Objects, Don State Technical University.
tematt82@mail.ru

TREPACHEV, Victor V., Candidate of Science in Physics and Maths, associate professor of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University.
trepachev.victor@yandex.ru

TSYMBALOV, Denis S., teaching assistant of the Electrotechnics and Electronics Department, Don State Technical University.
den_constructor@mail.ru

TUGENGOLD, Andrey K., PhD in Science, professor of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University.
akt0@yandex.ru

VOLODIN, Roman S., postgraduate student of the Theory and Technology Management Department, Southern Federal University.
rosvol@rambler.ru

ZAKOVOROTNIY, Vilor L., PhD in Science, professor, head of the Production Automation Department, Don State Technical University.
vzakovozotny@donstu.ru

ZOTOV, Vladimir V., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Tools Production Department, Don State Technical University.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Статья должна быть представлена в распечатанном виде и на магнитном носителе в электронной версии с расширением doc. Шрифт Times New Roman. Кегль - 14. Межстрочный интервал для текста - 1,5. Бумага белая форматом А4.

2. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности: полное название статьи; инициалы и фамилии авторов, место работы; аннотация (max 400 символов, включая пробелы); ключевые слова (max 150 символов). Затем идет текст самой статьи, библиографический список, сведения об авторах (ФИО, научная степень, звание, должность и место работы, e-mail).

3. Дополнительно к статье должны быть представлены следующие материалы на английском языке: ФИО авторов, полное название статьи, аннотация (полная аналогия русской версии), ключевые слова, сведения об авторах.

4. Статья должна предусматривать разделы: введение (постановка задачи), основную часть (подзаголовки), выводы или заключение.

5. Объем статьи не должен превышать 16 страниц машинописного текста, 5 рисунков или фотографий; обзора - 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения - не более 3 страниц, 2 рисунков.

6. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Каждый рисунок должен иметь подпись. Рисунки должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в формульном редакторе MS Word.

7. Размерность физических величин, используемых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.).

8. Библиографический список должен включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг - фамилию и инициалы автора, название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

9. При представлении материала на рассмотрение в редакцию необходимо наличие внешней рецензии, подписанной специалистом, имеющим ученую степень доктора наук (обязательно заверенной в отделе кадров по месту работы рецензента). К статьям аспирантов и соискателей необходимо приложить отзыв научного руководителя. Для авторов, не являющихся сотрудниками ДГТУ, необходима рекомендация на имя главного редактора, подписанная научным руководителем автора (для соискателей ученой степени) или руководителем подразделения (обязательно заверенная печатью).

10. Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

11. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются, рукописи и магнитные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи.

12. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Более подробно с правилами оформления можно ознакомиться на сайте журнала "Вестник ДГТУ" по адресу http://vestnik.dstu.edu.ru